



TUGAS AKHIR – RG 141536

# **STUDI KETELITIAN PLANIMETRIK PADA MODEL 3D PENGUKURAN *TERRESTRIAL LASER* SCANNER**

***(Studi Kasus : Jembatan Suramadu, Jawa Timur)***

RIZQI WAHYU PRIAMBODO  
NRP 3511 100 037

Dosen Pembimbing  
Hepi Hapsari Handayani , ST, M.Sc

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



TUGAS AKHIR – RG 141536

# **Study On Model 3d Planimetric Accuracy Measurement Terrestrial Laser Scanner (Case Study : Suramadu Bridge, East Java)**

RIZQI WAHYU PRIAMBODO  
NRP 3511 100 037

Advisor  
Hepi Hapsari Handayani , ST, M.Sc

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya  
2016

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **STUDI KETELITIAN PLANIMETRIK PADA MODEL 3D PENGUKURAN *TERRESTRIAL* *LASER SCANNER***

**(Studi Kasus : Jembatan Suramadu, Jawa Timur)**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat**

**Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**pada**

**Jurusan S-1 Teknik Geomatika**

**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**RIZQI WAHYU PRIAMBODO**

**NRP. 3511100037**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**Hepi Hapsari Handayani, ST, M. Sc.**

**NIP. 1978 1212 2005 01 2 00**



**SURABAYA, JANUARI 2016**



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **STUDI KETELITIAN PLANIMETRIK PADA MODEL 3D PENGUKURAN *TERRESTRIAL LASER SCANNER***

## **(Studi Kasus : Jembatan Suramadu, Jawa Timur)**

**Nama Mahasiswa** : Rizqi Wahyu Priambodo  
**NRP** : 3511100037  
**Jurusan** : Teknik Geomatika  
**Dosen Pembimbing** : Heps Hapsari Handayani , ST, M.Sc

### **ABSTRAK**

*Penelitian ini mengenai Studi Ketelitian Planimetrik pada permukaan (3D) model dalam survei tiga dimensi menggunakan terrestrial laser scanning (TLS). Jembatan Suramadu yang berlokasi di antara Kota Surabaya dan Kabupaten Bangkalan sebagai penghubung Pulau Jawa dengan Pulau Madura ini terpilih sebagai objek penelitian. Instrumen teknologi laser yang digunakan sebagai pembanding adalah Geomax Zoom 300 (Terrestrial Laser Scanner) dan Ruide RTS-822 R3 (Electronic Total Station) serta GPS Geodetik Topcon-Hiper Pro untuk pengukuran titik referensi (BM) dan sebagai pedoman titik koordinat georeferensi. Dua puluh titik ada pada posisi yang sama di masing-masing model permukaan pengukuran yang dipilih. Koordinat hasil pengukuran Electronic Total Station dan Terrestrial Laser Scanner kemudian diubah menjadi koordinat global (UTM) menggunakan proses georeferensi hasil pengukuran GPS Geodetik. Koordinat 3D dan ketinggian Jembatan Suramadu dihitung untuk setiap model. Perbedaan jarak koordinat dan ketinggian dianggap sebagai kesalahan dalam x, y, dan z. Standar deviasi perbedaan jarak koordinat 3D adalah  $x = 0.240119501$  m,  $y = 0.299053305$  m, and  $z = 0.172432871$  m.. Dengan interval kepercayaan 90% pada uji statistik, beberapa perbedaan jarak tidak jatuh dalam kisaran toleransi (sekitar 10 %).. 3D visualisasi ketinggian Jembatan Suramadu yang dihasilkan dari data Terrestrial Laser Scanner lebih tepat daripada yang dibuat dari data Total Station. Di masa depan, 3D seperti visualisasi model permukaan dapat digunakan untuk dokumentasi, pelestarian dan rekonstruksi bangunan jembatan.*

**Kata Kunci—** Jembatan, koordinat, laser scanner, model 3 dimensi, visualisasi.







# **STUDY ON MODEL 3D PLANIMETRIC ACCURACY MEASUREMENT TERRESTRIAL LASER SCANNER (Case Study : Suramadu Bridge, East Java)**

**Student Name** : Rizqi Wahyu Priambodo  
**NRP** : 3511100037  
**Department** : Geomatics Engineering  
**Advisor** : Hapi Hapsari Handayani ,ST, M.Sc.

## **ABSTRACT**

*Research subjects reported was the study on model of three-dimensional (3D) surface model of Suramadu Bridge in three-dimensional using terrestrial laser scanning (TLS). Longest bridge located between Surabaya and Bangkalan as connecting Java and Madura was chosen as the research object. Laser technology instruments used for comparison is GeoMax Zoom 300 (Terrestrial Laser Scanner) and Gowin TKS-202 (Electronic Total Station) as well as geodetic GPS coordinates for the reference measurement and the longest bridge georeferenced. Ten points there are in the same position in each of the measurement surface model chosen. Coordinate measurement results Electronic Total Station and Terrestrial Laser Scanner is then converted into a global coordinates (UTM) using georeferencing process Geodetic GPS measurement results. 3D coordinates and altitude longest bridge is calculated for each model. Coordinate distance and altitude difference is regarded as an error in the x, y, and z. The standard deviation of the differences within the 3D coordinates are  $x = 0.240119501$  m,  $y = 0.299053305$  m, and  $z = 0.172432871$  m.*

*With  $\alpha = 90\%$  confidence interval on statistical tests, some distance difference does not fall within the tolerance range (about 10%) .. 3D visualization height Suramadu generated from the data Terrestrial Laser Scanner more precise than those made of the data Total Station. In the future, such as the visualization of 3D surface models can be used for documentation, preservation and reconstruction of bridge building.*

**Keywords : Bridge, coordinates, laser scanners, three-dimensional model, visualization.**



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, karena atas ridho, hidayah dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini untuk memenuhi persyaratan kelulusan strata I pada Jurusan Teknik Geomatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sholawat serta salam penulis tujukan kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis yang tercinta (Didik Hariyadi (Alm) dan Sri Sumadya Puji Astuti) atas curahan kasih sayang, doa dan dukungan secara moril maupun materil kepada penulis.
2. KEMENDIKBUD melalui beasiswa BIDIKMISI yang telah memberikan banyak bantuan materil sehingga dapat melanjutkan kuliah di jenjang pendidikan tinggi.
3. Ibu Hepi Hapsari Handayani, ST, M.Sc selaku dosen pembimbing atas kritik, saran dan motivasinya.
4. Bapak Dr. Ir. M. Taufik selaku dosen wali
5. Bapak Mukhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, D.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
6. Dinas Pekerjaan Umum Jawa Timur dan Patroli Jalan Raya Jembatan Suramadu atas data dan informasi yang diberikan.
7. Pihak GPS Land yang telah memberikan sarana dalam pelaksanaan tugas akhir.
8. Seluruh dosen pengajar yang telah membimbing dan memberikan materi perkuliahan kepada penulis.
9. Seluruh staff TU dan Karyawan Teknik Geomatika ITS atas bantuannya.
10. Fierdiansyah Eka Rachmawan yang sudah memberikan banyak dukungan hingga selesainya laporan tugas akhir.
11. Seluruh angkatan 2011 Teknik Geomatika ITS, terima kasih atas kebersamaan, bantuan, doa dan dukungannya.
12. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis merasa masih menemui beberapa kendala maka dari itu

penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Sebagai penutup, inilah karya yang dapat penulis berikan dalam Tugas Akhir ini. Penulis berharap keberadaan Tugas Akhir ini bermanfaat banyak bagi berbagai pihak yang bersangkutan.

Surabaya, Januari 2016

Penulis



# DAFTAR ISI

ABSTRACT.....	v
ABSTRAK.....	vii
HALAMAN PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I LATAR BELAKANG .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir .....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Pengukuran Terestris.....	5
2.1.1 <i>Electronic Total Station</i> .....	5
2.1.2 Poligon Terbuka Terikat Sempurna.....	6
2.1.3 Pengukuran Detil .....	7
2.2 Teknologi Pemetaan Tiga Dimensi .....	8
2.2.1 Teknologi <i>Terrestrial Laser Scanning</i> .....	8
2.2.2 Definisi <i>Terrestrial Laser Scanner</i> .....	8
2.2.3 Prinsip Dasar <i>Terrestrial Laser Scanner</i> .....	9
2.2.4 <i>Point Clouds</i> .....	11
2.2.5 Representasi <i>Point Clouds</i> .....	12
2.2.6 Proses Registrasi Data .....	13
2.2.7 <i>Noise Filtering</i> .....	17
2.2.8 Georeferensi .....	19
2.3 Uji Statistik .....	22
2.4 GPS.....	24
2.4.1 Definisi GPS.....	24
2.4.2 Metode Penentuan Posisi dengan GPS .....	26
2.4.3 Penentuan Posisi Metode Survei Statik .....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	29
3.1 Lokasi Penelitian .....	29

3.2	Data dan Peralatan .....	30
3.2.1.	Data.....	30
3.2.2	Peralatan .....	30
3.3	Metodologi Penelitian.....	31
3.3.1	Tahapan Pelaksanaan .....	31
3.3.2	Tahapan Pengolahan Data.....	33
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA</b>		<b>37</b>
4.1	Hasil Penelitian.....	37
4.1.1	Hasil Pengamatan GPS .....	37
4.1.2	Hasil Pengukuran Kerangka Kontrol.....	38
4.1.3	Hasil Pengukuran Titik Kontrol.....	41
4.1.4	Perencanaan <i>Terrestrial Laser Scannner</i> .....	46
4.1.5	Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanner</i> .....	47
4.1.6	Georeferensi .....	48
4.1.7	<i>Filtering</i> .....	49
4.1.8	Visualisasi Tiga Dimensi .....	50
4.2	Analisis Penelitian .....	51
4.2.1	Analisis Polygon.....	51
4.2.2	Analisis Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanner</i> ....	52
4.2.3	Analisis Proses Georeferensi .....	55
4.2.4	Analisa <i>Filtering</i> .....	56
4.2.5	Analisis Koordinat .....	57
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>63</b>
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>64</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>68</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Metode Penentuan Posisi dengan GPS.....	28
Tabel 4. 1	Data Koordinat GPS.....	37
Tabel 4. 2	Data Koordinat Kerangka Kontrol .....	39
Tabel 4. 3	Data Koordinat Titik ICP ETS.....	44
Tabel 4. 4	Data Koordinat Titik GCP ETS .....	45
Tabel 4. 5	Hasil Proses Georeferensi .....	48
Tabel 4. 6	List Kesalahan dan Toleransi Koreksi Sudut dan Jarak .....	51
Tabel 4. 7	Tabel Error titik georeferensi.....	55
Tabel 4. 8	Data Koordinat ICP TLS .....	57
Tabel 4. 9	Uji Statistik.....	58
Tabel 4. 10	Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada Sumbu Y .....	58
Tabel 4. 11	Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada X .....	60
Tabel 4. 12	Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada Z .....	61
Tabel 4. 13	Hasil Analisa ICP .....	62





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Electronic Total Station</i> .....	6
Gambar 2.2	Pola dasar polygon terbuka terikat sempurna .....	6
Gambar 2.3	<i>Terrestrial Laser Scanner Geomax Zoom300</i> ....	9
Gambar 2.4	<i>Point cloud</i> yang belum terorganisir .....	11
Gambar 2.5	Peta Kedalaman .....	12
Gambar 2.6	Hasil sebaran percikan titik laser (kiri), perbesaran gambar dari percikan laser (kanan) .....	13
Gambar 2.7	Sistem koordinat <i>laser scanner</i> .....	14
Gambar 2.8	Registrasi dua <i>point clouds</i> hasil pemindaian .....	15
Gambar 2.9	Ilustrasi teknik registrasi <i>surface matching</i> .....	17
Gambar 2.10	Pendekatan <i>Noise Filtering</i> .....	18
Gambar 2.11	Georeferensi secara langsung .....	20
Gambar 2.12	Georeferensi tidak langsung dengan dua tahap pendekatan .....	21
Gambar 2.13	Registrasi tidak langsung dengan pendekatan satu tahap .....	22
Gambar 2. 14	Satelit GPS .....	25
Gambar 2. 15	Metode dan sistem penentuan posisi dengan GPS .....	27
Gambar 2. 16	Metode akuisisi data penentuan posisi dengan GPS .....	28
Gambar 3. 1	Lokasi Pengukuran Jembatan Nasional Suramadu .....	29
Gambar 3. 2	Tahapan Penelitian .....	31
Gambar 3. 3	Tahapan Pengolahan Data .....	34
Gambar 4. 1	Posisi rover .....	38
Gambar 4. 2	Bentuk Kerangka Kontrol .....	40
Gambar 4. 3	Posisi Titik GCP ETS .....	42
Gambar 4. 4	Posisi ICP ETS .....	43
Gambar 4. 5	Sebaran Titik Berdiri Alat <i>Terrestrial Laser Scanner</i> .....	46
Gambar 4. 6	<i>Point Clouds</i> Jembatan Suramadu .....	48
Gambar 4. 7	<i>Point Clouds</i> Jembatan Suramadu Sebelum	

	Proses <i>Filtering</i> .....	49
Gambar 4. 8	<i>Point Clouds</i> Jembatan Suramadu Setelah Proses <i>Filtering</i> .....	50
Gambar 4. 9	Gambar Visualisasi 3D Jembatan Suramadu .....	50
Gambar 4. 10	Grafik total sebaran <i>point clouds</i> di setiap titik berdiri alat .....	52
Gambar 4. 11	Sebaran <i>point clouds</i> di posisi berdiri alat titik ke-1 .....	53
Gambar 4. 12	Sebaran <i>point clouds</i> di posisi berdiri alat titik ke-7 .....	53
Gambar 4. 13	Lokasi spot kosong di pilar utama Jembatan Suramadu .....	54
Gambar 4. 14	Lokasi spot kosong di bentang tengah Jembatan Suramadu .....	54
Gambar 4. 15	Grafik Perbandingan Jumlah <i>Point Clouds</i> Sebelum dan Sesudah <i>Filtering</i> .....	56

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Pengambilan Data
- Lampiran 2 Pengukuran *GPS*
- Lampiran 3 Sampel Data *Point Clouds TLS* Format ASCII





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Pertumbuhan ekonomi menjadi kunci penting dalam perkembangan sebuah wilayah. Propinsi Jawa Timur dengan jumlah penduduk mencapai 33 juta jiwa, yang menjadi salah satu propinsi dengan kepadatan penduduk yang padat. Sebagai pintu gerbang Indonesia, Jawa Timur juga memegang kunci penting laju industri dan perdagangan, maka tak dapat dihindari jika jalur transportasi menjadi bagian penting laju perputaran roda industri. Pembangunan Jembatan Suramadu tidak hanya sekedar membangun jembatannya saja tetapi yang lebih penting adalah meningkatkan perekonomian Madura (BPWS, 2011).

Jembatan Suramadu merupakan jembatan terpanjang di Indonesia yang memiliki panjang 5.438 meter. Jembatan ini menyediakan empat lajur dua arah selebar 3,5 meter dengan dua lajur darurat selebar 2,75 meter. Jembatan ini juga menyediakan lajur khusus bagi pengendara sepeda motor disetiap sisi luar jembatan. Jembatan Suramadu memiliki 3 bagian jembatan yang terdiri dari jalan layang (*Causeway*), jembatan penghubung (*approach bridge*) dan jembatan utama (*main bridge*). Jalan layang atau Causeway dibangun untuk menghubungkan konstruksi jembatan dengan jalan darat melalui perairan dangkal dengan panjang 1.822,25 meter dari sisi Madura dan 1.457,75 meter dari sisi Surabaya, sedangkan jembatan penghubung (*approach bridge*) memiliki panjang yang sama dari kedua sisinya yaitu masing-masing 670 meter dan jembatan utama dengan panjang 818 meter (BPWS, 2011).

Jembatan Suramadu menjadi satu-satunya penghubung jalur darat antara Pulau Jawa dan Madura. Volume kendaraan bermotor yang melewati jembatan Surabaya–Madura (Suramadu) tahun 2012 rata-rata dilalui 35.000 sepeda motor serta 23.000 mobil per harinya. Kendaraan bermotor yang melewati jembatan

Suramadu didominasi oleh sepeda motor yakni mencapai 70% dari total 58.000 unit kendaraan per hari, sisanya kendaraan bermotor roda empat termasuk mobil, bus dan truk. Pada objek ini didapatkan kesimpulan bahwa pemodelan menggunakan *laser scanner* bisa berkontribusi dalam melakukan perekaman sebuah objek yang akan membantu dalam proses desain ulang objek maupun pengarsipan objek (Barber, 2007).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Montserrat (2008), menjelaskan mengenai penelitian deformasi menggunakan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Eksperimen validasinya menggunakan media bangunan Mediterranean Technology Park Barcelona, dan hasil validasinya bertujuan untuk membandingkan antara hasil data *scanning* dari *Terrestrial Laser Scanner* dengan data hasil pengukuran topografi yang diambil secara langsung dari lapangan. Teknologi *laser scanning* merupakan teknik yang cukup baik, yang dapat menentukan pergeseran tanah secara *real*, berdasarkan penelitian teknologi ini juga menghasilkan perbandingan yang baik untuk resolusi dan kualitas pengukuran (Montserrat & Crosetto, 2007).

Data titik-titik awan (*Point clouds*) merupakan hasil *scanning* dari TLS untuk menghasilkan model 3D. Model ini memungkinkan untuk dapat menampilkan banyak data geometris dan visual yang diperlukan. Permodelan tiga dimensi (3D *modelling*) dan visualisasi adalah metode survei dengan *Terrestrial laser scanner* yang menghasilkan seperangkat informasi *point clouds*. Bila dibandingkan dengan metode tradisional, *Point clouds* memberikan tingkat signifikan lebih tinggi dengan kelengkapan geometris benar dan detail (Charles, E. 2004).

*Laser scanner* menawarkan metode yang sangat efektif untuk mengumpulkan titik dalam jumlah yang besar dengan tepat. Sehingga dengan resolusi tinggi dalam *Point clouds* dengan informasi tiga dimensi ini sangat cocok untuk aplikasi inventarisasi data tiga dimensi. Tidak seperti teknik survei tradisional yang mengumpulkan ratusan titik data diskrit selama



beberapa hari, pencitraan laser mampu menangkap beberapa juta titik tiga dimensi hanya dalam beberapa menit (Lichti et al., 2000).

*Laser Scanner* merupakan teknologi terbaru yang muncul dan standart teknik pengukuran terbaru untuk melakukan pekerjaan detil permodelan 3 dimensi. Secara geometris teknologi *Terrestrial Laser Scanner* menyediakan akurasi yang baik dan informasi yang akurat dari suatu objek bentuk. Pada teknologi modern terrestrial laser scanner, integrasi antara *Laser Scanner* dengan kamera, dapat menghasilkan informasi radiometris dan tambahan muatan warna. Kombinasi langsung antara detail geometris dan unsur radiometrik menjadikan dasar teknologi laser scanner unggul dalam ekstraksi objek secara otomatis (Barnea, S. Filin, S. 2012).

Penelitian yang dilaksanakan di bentang tengah Jembatan Suramadu ini dikarenakan lokasi tersebut merupakan jembatan utama dan terdapat dua pilar utama yang menjadi ikon dari Jembatan Suramadu. Didalam penelitian ini kami akan melakukan uji ketelitian pada *Terrestrial Laser Scanner* dibandingkan dengan *Electronic Total Station* menggunakan uji statistika dengan menggunakan data hasil dari *Electronic Total Station* sebagai parameter yang dianggap benar. Dan hasil keluaran yang diharapkan dalam penelitian ini adalah menjelaskan apabila ketelitian yang dimiliki oleh *Terrestrial Laser Scanner* nantinya mampu menggantikan peran dari teknologi survei pada *Electronic Total Station*.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Perumusan masalah yang dimunculkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara visualisasi 3D Jembatan Suramadu menggunakan *terrestrial laser scanner* (TLS) ?
2. Bagaimana analisa ketelitian *Terrestrial Laser Scanner* terhadap hasil pengukuran *Electronic Total Station* dengan menggunakan uji statistika?

### 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Teknologi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *3D laser scanner*.
2. Pengolahan data akan dilakukan dengan aplikasi permodelan 3D untuk visualisasi data.
3. Pengukuran koordinat *Benchmark* (BM) sebagai titik referensi untuk pengambilan *Ground Control Point* (GCP) menggunakan GPS Geodetik.
4. Analisa hasil menggunakan uji statistika.

### 1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Visualisasi 3D jembatan Suramadu hasil pengukuran dengan *Terrestrial Laser Scanner*.
2. Evaluasi ketelitian posisi titik koordinat tiga dimensi jembatan hasil data pengamatan *Terrestrial Laser Scanner* dengan data *Electronic Total Station* sebagai pembanding.

### 1.5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data dan hasil penelitian dapat memberikan pengetahuan mengenai visualisasi dalam bentuk 3 dimensi bangunan Jembatan Suramadu.
2. Informasi mengenai Jembatan Suramadu dapat digunakan dalam pemantauan konstruksi jembatan untuk pemeliharaan oleh Dinas PU dan BPWS.
3. Untuk inventarisasi model 3D jembatan di masa yang akan datang.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengukuran Terestris**

Di dalam pemetaan topografi cara terestris, titik-titik di muka bumi dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu kelompok titik-titik kerangka dasar dan kelompok titik-titik detail. Titik-titik kerangka dasar adalah sejumlah titik yang di buat dan di pasang di lapangan (dengan tanda pengenalan patok kayu dan pilar beton) yang merupakan kerangka dasar pemetaan dengan fungsi sebagai titik pengikat pengukuran titik-titik detail, serta pengontrol pengukuran titik-titik lainnya. Titik-titik detail adalah titik-titik yang ada di lapangan yang merupakan antara lain titik-titik pojok bangunan, titik-titik batas tanah, titik-titik sepanjang pinggiran jalan serta titik-titik lain yang letak dan kerapatannya ditentukan untuk menggambarkan bentuk dari permukaan tanah (Nurjati, C. 2004).

##### **2.1.1. Electronic Total Station**

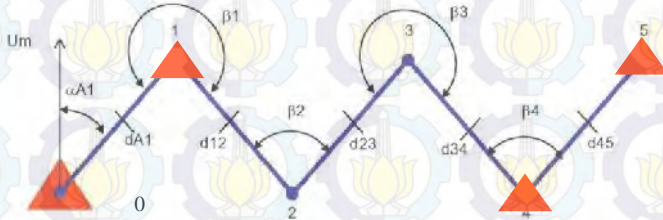
*Electronic Total Station* (ETS) adalah suatu alat yang merupakan kombinasi theodolit elektronik, *Electronic Distance Meter* (EDM) dan perangkat lunak yang berfungsi sebagai kolektor data. Data yang diperoleh dari pengukuran menggunakan *Electronic Total Station* berupa sudut dan jarak, kemudian dengan menggunakan persamaan trigonometri dapat diperoleh koordinat suatu titik relatif terhadap titik tertentu (Hendriatiningsih, S. 2015). Gambar *Electronic Total Station* dapat dilihat pada Gambar 2.1.





Gambar 2. 1 *Electronic Total Station*  
(Sumber : <http://geog.sfsu.edu>, 2015)

### 2.1.2. Poligon Terbuka Terikat Sempurna



Gambar 2.2 Pola dasar polygon terbuka terikat sempurna  
(Sumber : [itp-civilengineering.com](http://itp-civilengineering.com), 2015)

Keterangan :

0,1,4,5 = Titik tetap (diketahui koordinatnya)

2,3,...,n = Titik yang akan ditentukan koordinatnya

$\alpha$  = Sudut jurusan (azimuth)

$\beta$  = Sudut dalam

$d$  = Jarak antara dua titik

Syarat yang harus dipenuhi untuk poligon terbuka terikat sempurna:

$$(\alpha_{\text{akhir}} - \alpha_{\text{awal}}) = \sum \beta - n \cdot 180^\circ + f \beta \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$d \sin \theta + f(x) = X_{\text{akhir}} - X_{\text{awal}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$d \cos \theta + f(y) = Y_{\text{akhir}} - Y_{\text{awal}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

$\sum \beta$  : jumlah sudut

$\sum d$  : jumlah jarak

$f(s)$  : kesalahan sudut

$f(x)$  : salah penutup absis (X)

$f(y)$  : salah penutup ordinat (Y)

( Sumber : Nurjati, C. 2004 )

Toleransi Pengukuran :

1. Sudut :  $f_s \leq i\sqrt{n}$  , dimana  $f_s$  = salah penutup sudut,  $i$  = skala terkecil alat, dan  $n$  = jumlah sudut yang diukur

2. Jarak :  $\frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{\sum D} \leq \frac{1}{10000}$  , dimana  $\sqrt{f_x^2 + f_y^2}$  =

salah linier dan  $\sum D$  = jumlah jarak antar sudut (km) (Nurjati, C. 2004).

### 2.1.3. Pengukuran Detil

Detil adalah segala objek yang bersifat alamiah seperti sungai, lembah, bukit, alur, dan rawa, maupun hasil budaya manusia seperti jalan, jembatan, gedung, lapangan, stasiun, selokan, dan batas-batas pemilikan tanah yang akan dijadikan isi dari peta yang dibuat (Basuki, 2006). Ada beberapa metode pengukuran titik detil, antara lain:

1. Metode *offset*
2. Metode polar (*tachimetry*)
3. Metode perpotongan ke muka

## 2.2. **Teknologi Pemetaan Tiga Dimensi**

Pemetaan objek tiga dimensi diperlukan untuk perencanaan, konstruksi, rekonstruksi, ataupun manajemen aset. Suatu objek tiga dimensi merupakan objek yang memiliki

dimensi panjang, lebar, dan tinggi yang direpresentasikan dengan koordinat tiga dimensi (X, Y, Z). Pelaksanaan pengambilan data dalam pemetaan tiga dimensi suatu objek dapat dilakukan dengan berbagai model pemetaan yang identik dengan peralatan yang digunakan. Pada dasarnya metode-metode tersebut menghasilkan output suatu data koordinat tiga dimensi dan setiap peralatan yang digunakan memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing.

#### 2.2.1. Teknologi Terrestrial Laser Scanning

Sistem *Terrestrial Laser Scanning* telah tersedia selama sepuluh tahun dan dalam lima tahun terakhir *laser scanning* telah diterima sebagai metode standar untuk pengambilan akuisisi data dalam 3D, sejajar dengan sampling metode yang sudah ada seperti *tacheometry*, fotogrametri dan GPS. Secara khusus, dokumentasi yang terbangun pada industri sistem *Terrestrial Laser Scanning* telah memainkan peran penting karena ketersediaan pertama mereka sebagai sistem komersial. Keuntungan utama dari sistem pengukuran ini adalah akuisisi data 3D yang lengkap dan rinci pada objek untuk aplikasi yang berbeda. Secara khusus, penggunaan *Terrestrial Laser Scanning* untuk 3D modeling, pengukuran deformasi, pemantauan dan analisis telah meningkat selama beberapa tahun terakhir (Kersten dkk, 2009). Pengembangan luas ini telah difasilitasi oleh perangkat lunak baru dan komputer dengan peningkatan daya CPU dan penyimpanan yang dapat memproses data titik 3D dari laser (Pinarci, 2007).

#### 2.2.2. Definisi Terrestrial Laser Scanner

*3D Laser Scanner* atau lebih dikenal dengan sebutan *Laser Scanner* merupakan instrumen analisis objek *real world* yang dapat mengumpulkan data permukaan dan bentuk objek kemudian ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi (www.trimble.com, 2015). Data yang terkumpul dapat digunakan untuk mengkonstruksi bentuk suatu objek tiga dimensi secara digital.





Gambar 2. 3 *Terrestrial Laser Scanner Geomax Zoom300*  
(Sumber : [www.geomaxpositioning.com](http://www.geomaxpositioning.com), 2015)

Pengkombinasian antara laser dengan pemindaian (*scanner*) secara optis dengan kecepatan tinggi dapat menghasilkan model tiga dimensi suatu objek industri, bangunan, dan struktur yang sulit dijangkau secara detail dan akurat. Alat ini dapat secara langsung menghasilkan data tiga dimensi dalam jumlah yang besar, kompleks, tidak beraturan, standar atau objek yang tidak standar, dan dapat dengan cepat membuat kembali model tiga dimensi yang meliputi garis, permukaan dan fitur tiga dimensi lainnya.

### 2.2.3. Prinsip Dasar Terrestrial Laser Scanner

*Leica Scan Station 2* dalam merekam objek tidak memerlukan reflektor atau biasa dikenal dengan *reflectorless*. *Terrestrial Laser Scanner* termasuk dalam kategori *laser scanner non-contact* aktif yaitu *scanner* yang dapat memancarkan radiasi atau suatu cahaya dan mendeteksi pantulannya untuk mendapatkan data mengenai suatu objek. Dalam melakukan pengambilan data *Terrestrial Laser Scanner* menggunakan suatu teknologi yang disebut dengan *Time Of Flight*. *Terrestrial Laser Scanner Time Of Flight* merupakan suatu teknologi yang banyak digunakan saat ini.

*Time-of flight Terrestrial Laser Scanner* merupakan suatu *laser scanner* aktif yang menggunakan sinar untuk mendeteksi suatu objek. Inti dari teknologi ini adalah *time-of-*



*flight laser rangefinder*. *Laser Rangefinder* ini digunakan untuk mengetahui jarak dari permukaan suatu objek dengan menghitung waktu tempuh pulang-pergi dari suatu pulsa cahaya. Satu pulsa cahaya digunakan untuk mengukur satu jarak dari waktu tempuhnya dari mulai dipancarkannya pulsa hingga mengenai objek, kemudian diterima kembali pantulan dari pulsa tersebut oleh detektor, karena cepat rambat cahaya ( $c$ ) telah diketahui dan waktu tempuh cahaya tersebut dari mulai dipancarkan sampai diterima kembali oleh sensor diketahui juga sehingga dapat dihitung jaraknya sebagai berikut (Firdaus, 2008):

$$d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

- $d$  : Jarak dari alat ke objek (meter)
- $c$  : Cepat rambat gelombang (meter/detik)
- $t$  : Waktu tempuh (detik)

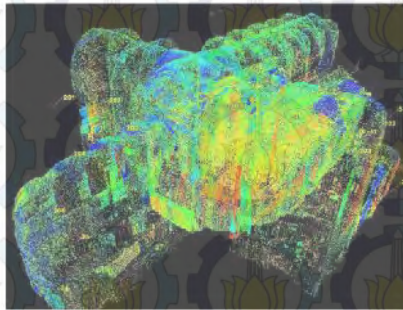
*Laser Rangefinder* hanya mengukur jarak pada arah pandangnya. Dengan mengubah arah pandang *laser rangefinder* didapat jarak suatu titik pada arah yang berbeda pula. Perubahan arah pandang dapat dilakukan dengan memutar *Laser Rangefinder* maupun dengan suatu sistem putaran cermin. Sistem putaran cermin lebih banyak digunakan karena lebih ringan dan dapat diputar lebih cepat dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Teknologi tersebut memungkinkan *Terrestrial Laser Scanner* untuk mengukur jarak sebanyak 10.000~100.000 titik per detik.

*Terrestrial Laser Scanner* dapat diputar 360° pada arah horisontal dan 270° pada arah vertikal. Seperti halnya pada *Electronic Total Station*, pada *laser scanner* pun memiliki suatu lingkaran horisontal dan vertikal yang digunakan untuk mengukur sudut vertikal dan horisontal agar diperoleh koordinat 3D suatu titik.

#### 2.2.4. Point Clouds

*Point clouds* adalah seperangkat data titik-titik yang memiliki informasi koordinat. Dalam sistem koordinat tiga dimensi, titik-titik ini biasanya ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z, dan titik-titik tersebut dapat mewakili bentuk permukaan luar dari objek (Lichti D. & S.J. Gordon, 2004).

*Point clouds* dapat dibuat oleh *laser scanner*. Perangkat ini mengukur sejumlah titik-titik pada permukaan obyek, dan menghasilkan yang disebut *point clouds* sebagai bentuk kesatuan file data titik-titik tersebut. *Point clouds* merupakan gabungan dari titik-titik yang telah terukur. *Point clouds* ini tidak langsung dapat digunakan di sebagian besar aplikasi 3D, biasanya terlebih dahulu harus dikonversikan ke dalam model CAD melalui beberapa proses pengolahan data.



Gambar 2.4 *Point cloud* yang belum terorganisir  
(Sumber : Lichti D. & S.J. Gordon, 2004)

Hasil dari proses *scanning 3D point clouds* digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk untuk membuat model 3D CAD untuk pemeriksaan mutu, visualisasi, animasi, *rendering* dan aplikasi kustomisasi massal (Linsen. L , 2001).

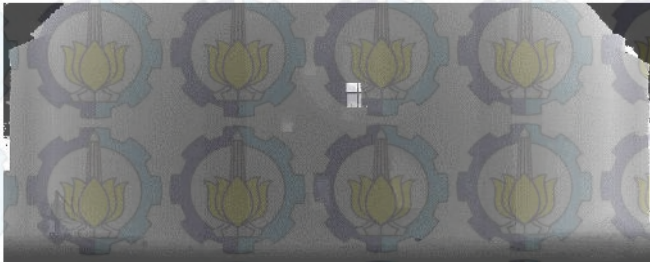
#### 2.2.5. Representasi Point Clouds

Hasil yang diperoleh dari proses pemindaian adalah titik-

titik dalam jumlah besar yang memiliki gambar ruang 3 dimensi, masing-masing titik memiliki koordinat  $x$ ,  $y$ ,  $z$  dan juga nilai reflektansi laser. Beberapa tipe laser scanner bahkan menyediakan informasi warna dalam bentuk nilai-nilai RGB.

Point clouds dapat direpresentasikan kedalam gambar titik-titik, akan tetapi hasil awal dari pengunduhan data akan memberikan kesan titik-titik yang kacau dan pengguna akan mengalami kesulitan mengenali struktur dari point clouds. Untuk itu perlunya tahapan-tahapan pengolahan data point clouds seperti proses filterisasi, segmentasi, registrasi, sehingga tampilan titik-titik point clouds akan menjadi lebih baik susunannya.

Karena laser scanner melakukan proses pemindaian dalam koordinat baris dan kolom, salah satu cara untuk mewakili Point clouds adalah dengan cara sederhana adalah seperti pemetaan kedalam objek benda. Sebuah peta kedalam dari struktur matriks di mana setiap piksel mewakili jarak dari titik objek ke pemindai dalam bentuk nilai keabu-abuan. Jenis representasi dari point clouds ini menggabungkan dengan proses yang lain, yaitu dengan penggunaan algoritma pengolahan point clouds sehingga dapat menghasilkan Point clouds yang terorganisir.



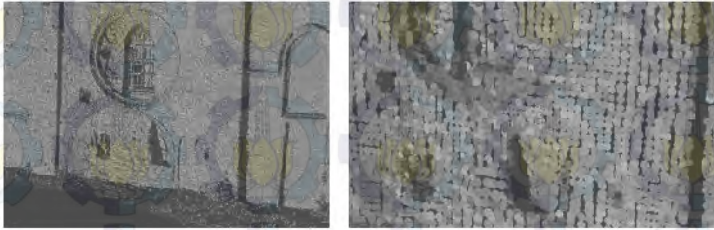
Gambar 2.5 Peta Kedalaman  
(Sumber : Lichti D. & S.J. Gordon, 2004)

Dengan menggunakan prinsip triangulasi, titik-titik yang memiliki pola dapat dihubungkan untuk membentuk



permukaan. Sehingga dapat direpresentasikan mendekati kenyataan objek di lapangan.

Dari proses pengambilan data Point clouds dimana yang merupakan titik yang kompleks dan diambil dalam waktu yang cukup singkat, Sehingga, beberapa point clouds nampak terlihat kasar. Setiap permukaan diwakili oleh bentuk objek titik-titik kecil pada permukaan objek.



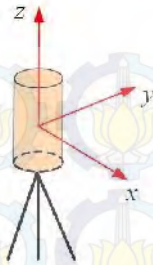
Gambar 2.6 Hasil sebaran percikan titik laser (kiri), perbesaran gambar dari percikan laser (kanan)

(Sumber : Lichti D. & S.J. Gordon, 2004)

#### 2.2.6. Proses Registrasi Data

Objek yang dapat dipindai oleh laser scanner dapat berupa objek yang besar dan memiliki bentuk yang kompleks. Oleh karena itu, dibutuhkan beberapa kali proses pemindaian. Proses pemindaian dilakukan dalam beberapa tempat berdiri alat agar didapatkan hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek. *Point clouds* yang dihasilkan pada tiap pemindaian, mengacu pada sistem koordinat internal yang direferensikan terhadap alat (Gambar 2.4). Sistem koordinat internal tersebut bisa didefinisikan sebagai berikut.

1. Origin, didefinisikan pada *scanner electro optical center*.
2. Sumbu z, berada sepanjang sumbu vertikal (rotasi alat).
3. Sumbu x, berada sepanjang sumbu optis alat.
4. Sumbu y, orthogonal terhadap sumbu z dan sumbu x, dengan bentuk sistem kaidah tangan kanan



Gambar 2.7 Sistem koordinat *laser scanner*  
(Sumber : Balis dkk. dalam Reshetyuk, 2009)

Perlu dilakukan suatu proses untuk mendapatkan representasi hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek, yang dalam prosesnya melakukan proses transformasi pada hasil pemindaian objek ke dalam suatu sistem koordinat, tahapan ini disebut registrasi. Tahapan registrasi perlu dilakukan untuk menggabungkan data hasil pemindaian dari beberapa tempat berdiri alat. Agar proses registrasi bisa dilakukan, proses pemindaian harus terdapat area yang overlap antara proses pemindaian dari satu titik ke proses pemindaian titik berikutnya. Dalam melakukan proses registrasi dilakukan transformasi hasil pemindaian yang didalamnya dilakukan penentuan nilai parameter transformasi, yaitu 3 parameter translasi ( X, Y, Z) yang tergabung dalam komponen translasi  $\vec{t}$  dan 3 parameter rotasi ( , , ) yang tergabung dalam matriks rotasi R.

Transformasi antara dua sistem koordinat yang berbeda  $\vec{x}_g$  dan  $\vec{x}_l$  bisa di deskripsikan secara matematis menggunakan *rigid body transformation* (Schluz, 2007).

$$\vec{x}_g = R \cdot \vec{x}_l + \vec{t} \dots \dots \dots (2.5)$$

Di mana:

$\vec{x}_g$  : vektor koordinat dalam sistem koordinat global

$\vec{x}_l$  : vektor koordinat dalam sistem koordinat

$R$  : matriks rotasi ( , , )  
 $t$  : komponen translasi ( X, Y, Z)

Selanjutnya, faktor skala, atau matriks skala dari sumbu yang berbeda bisa diberikan. Biasanya, matriks rotasi merupakan matriks yang ortogonal, di mana harus memenuhi 3 syarat (Schluz, 2007).

$$\begin{aligned}
 R^T &= R^{-1} \\
 R \cdot R^T &= R^T \cdot R = I \\
 \det R &= \pm 1 \dots\dots\dots(2.6)
 \end{aligned}$$

Di mana:

$R$  : Matriks rotasi  
 $R^T$  : tranpose dari matriks rotasi  
 $R^{-1}$  : inverse dari matriks rotasi

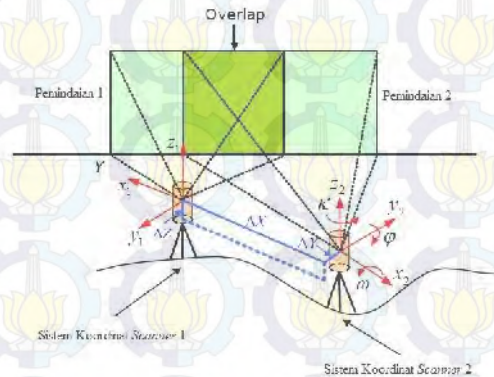
Ada beberapa metode registrasi data *point clouds* yang bisa digunakan, teknik registrasi yang dipilih akan mempengaruhi teknik survei yang akan dilakukan nantinya sehingga harus dipilih berdasarkan kondisi objek dan area di sekitar objek (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008). Ilustrasi proses registrasi dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Untuk melakukan proses registrasi terhadap hasil pemindaian, dapat dilakukan berbagai macam teknik registrasi sesuai kebutuhan. Menurut Reshetyuk (2009), terdapat empat macam teknik registrasi menurut, yaitu *target based registration*, *registration using natural point feature*, *surface matching* dan *registration using common geometrical object*.

Teknik registrasi *surface matching* adalah sebuah teknik registrasi yang menggunakan pendekatan kesesuaian *point clouds* yang bertampalan. Dengan adanya area yang *overlap* yang terdiri dari banyak titik, redundansi titik-titik tersebut akan memberikan hasil yang lebih baik daripada menggunakan titik ikat yang diskrit (Barber 2001 dalam Reshetyuk 2009). Algoritma dari *surface matching* pada umumnya berdasarkan metode *iterative closed*

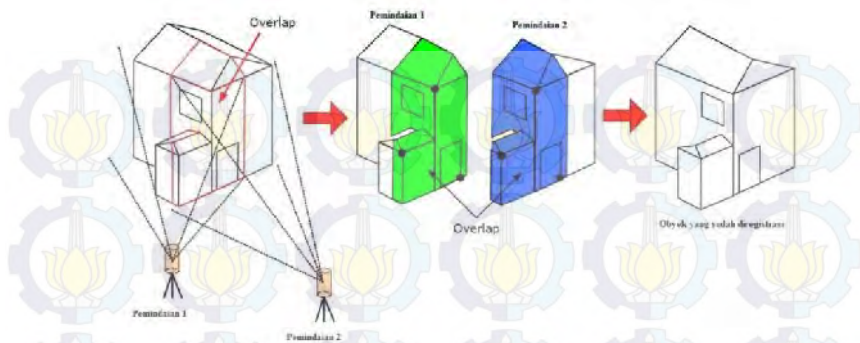


*point* (ICP). Registrasi ini didasarkan menggunakan referensi *point clouds* yang dimodelkan dengan permukaan, kemudian registrasi dilakukan dengan meminimalkan jumlah jarak antara titik pada *point clouds* dan permukaan. Ketika menggunakan teknik registrasi *surface matching* sangat perlu diperhatikan geometri area yang *overlap*. Dibutuhkan minimal 30% area yang *overlap* dari objek yang dipindai antara pemindaian 1 dan pemindaian 2. Ilustrasi teknik registrasi *surface matching* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.8 Regristasi dua *point clouds* hasil pemindaian  
(Sumber : Reshetyuk, 2009)





Gambar 2.9 Ilustrasi teknik registrasi *surface matching*  
(Sumber : Pfeifer dan Lichti (2004) dalam Reshetyuk (2009))

#### 2.2.7. *Noise Filtering*

Langkah pertama dalam proses *meshing* adalah menghilangkan data *noise* dari *point clouds*. *Mesh* akan berisi segitiga yang menghubungkan *noisy point* ini untuk membenarkan *points*. Hal ini akan menghasilkan *mesh* yang penuh dengan *spike*. Oleh karena itu menghilangkan *noisy point* ini merupakan hal yang penting (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

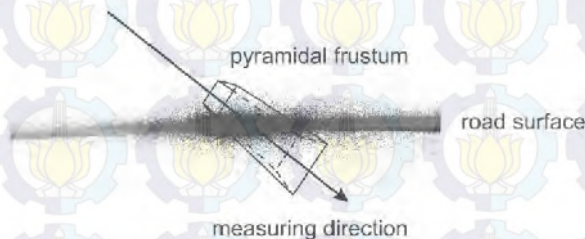
Algoritma otomatis untuk menghilangkan *noisy points* biasanya berdasarkan dua prinsip. Prinsip yang pertama adalah titik yang memiliki sedikit atau tidak ada titik lain di sekitarnya, dianggap sebagai objek asing atau yang objek yang tidak diperlukan. Mereka biasanya berasal dari orang atau benda lain yang bergerak di depan *scanner* saat sedang proses *scanning* dan bukan merupakan bagian dari objek yang di *scan*. Titik seperti ini bisa diidentifikasi dengan mudah menggunakan beberapa setelan parameter dan dihilangkan dari *point clouds* (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

Prinsip penghilangan *noise* lainnya adalah dengan menggerakkan titik sedikit untuk mendapatkan kehalusan

permukaan yang optimal. Algoritma ini mencoba untuk mencocokkan bidang secara lokal terhadap titik di *point clouds*. Ketika titik pusat berada sangat jauh dari bidang yang dicocokkan, titik pusat dipindahkan ke arah bidang sehingga memberikan konsistensi bagi tetangganya (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

Terdapat *noise filter* lainnya, beberapa yang khusus berdasarkan tipe *scanner*, yang lain menghilangkan kesalahan sistematis. Tentu saja saat menghilangkan *noisy points* harus berhati – hati. Fitur bisa hilang ketika *dataset* dihaluskan secara berlebihan atau menghilangkan terlalu banyak titik (Quintero, Genechten, Heine, & Garcia, 2008).

Sebagai contoh, sekumpulan data yang memiliki bias bisa di lihat di gambar 2.8. *Noise* dari data umumnya disebabkan oleh sudut kecil insiden dan warna permukaan yang gelap. *Pyramidal frustum* dibuat sepanjang arah pengukuran. Tinggi dari *pyramidal frustum* di buat untuk menentukan ketebalan dari *noise*.



Gambar 2.10 Pendekatan *Noise Filtering*  
Sumber: (Schluz, 2007)

Penghilangan *noise* dilakukan dengan merata – rata semua titik di dalam *pyramidal frustum*. Perataan berperan sebagai *low pass filtering* yang mengurangi *noise* pada sinyal. Sinyal diasumsikan sebagai nilai *mean*. Jika titik dideskripsikan oleh koordinat lokal *scanner*, maka nilai *mean* bisa dihitung dengan:

$$h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i, v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i, s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \dots \dots \dots (2.7)$$

$$|h - h_i| \leq \Delta h, |v - v_i| \leq \Delta v, |s - s_i| \leq \Delta s \dots \dots \dots (2.8)$$

Di mana:

- $n$  : nomor dari titik di dalam *pyramidal frustum*.  
 $h, v, s$  : titik yang dipilih  
 $h_i, v_i, s_i$  : semua titik lain dari *point cloud*  
 $\Delta h, \Delta v, \Delta s$  : diensi dari *pyramidal frustum*

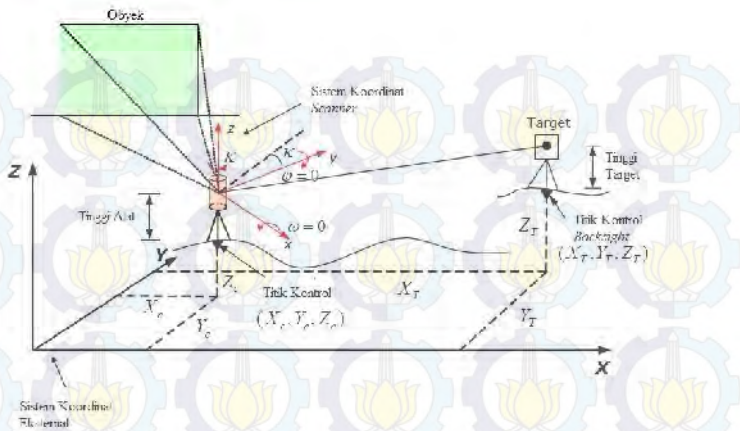
Secara matematis, titik dipilih menggunakan persamaan 2.15. Apabila sebuah titik berada di dalam *pyramidal frustum*, maka titik ini ditandai sesuai (Schluz, 2007).

#### 2.2.8. Georeferensi

Georeferensi dilakukan agar data TLS terintegrasi dalam data geospasial. Georeferensi dilakukan dengan meregistrasi seluruh data *point clouds* dari objek ke dalam sistem koordinat eksternal. Terdapat dua jenis metode georeferensi, yaitu secara langsung dan tidak langsung (Reshetyuk, 2009).

Pada georeferensi secara langsung, perlu dua titik referensi yang diketahui koordinatnya. Satu titik referensi yang diketahui koordinatnya merupakan tempat berdiri alat sedangkan satu titik yang lain merupakan tempat berdiri target yang digunakan sebagai *backsight*. Tingkat akurasi teknik georeferensi secara langsung bergantung pada akurasi *centering* laser scanner, pendataran, pengukuran *backsight* dan pengukuran tinggi alat. Ilustrasi teknik georeferensi secara langsung dapat dilihat pada Gambar 2.11.





Gambar 2.11 Georeferensi secara langsung  
(Gordon (2005) dalam Reshetyuk (2009))

Pada georeferensi secara tidak langsung, digunakan target-target sebagai titik kontrol. Target-target tersebut diketahui nilai koordinatnya dalam sistem koordinat eksternal untuk mentransformasikan *point clouds* hasil pemindaian. Pada teknik georeferensi secara tidak langsung dibutuhkan minimal tiga titik target yang digunakan. Tiga titik target yang digunakan tersebut dibutuhkan untuk menentukan enam parameter orientasi luar. Ada tiga pendekatan dalam melakukan *georeferencing* secara tidak langsung, yaitu pendekatan dua tahap, satu tahap dan menggunakan *surface matching* (Reshetyuk, 2009). Tujuan georeferensi adalah menemukan transformasi yang tepat dari *point clouds* ke posisi sebenarnya berdasarkan koordinat *benchmark*. Untuk rumus georeferensi diasumsikan memiliki kesamaan rumus transformasi dalam persamaan 2.4 dan 2.5.

$$x'_i = Ax_i + By_i + C = sx_i \cos \theta + sy_i \sin \theta + t_x \dots \dots \dots (2.9)$$

$$y'_i = -Bx_i + Ay_i + D = -sx_i \sin \theta + sy_i \cos \theta + t_y \dots \dots \dots (2.10)$$

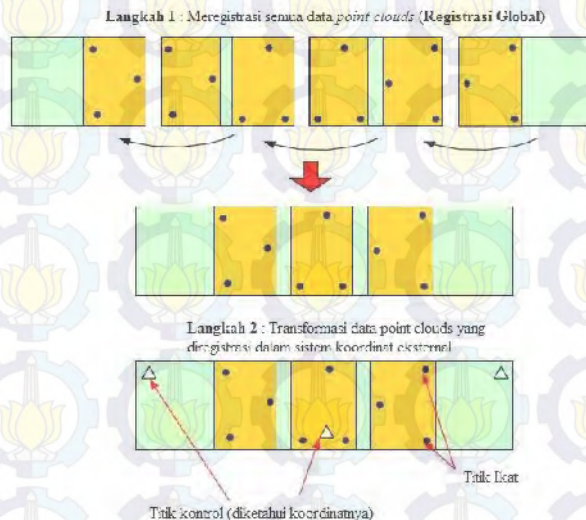
Keterangan:

$x'_i, y'_i$  : koordinat hasil



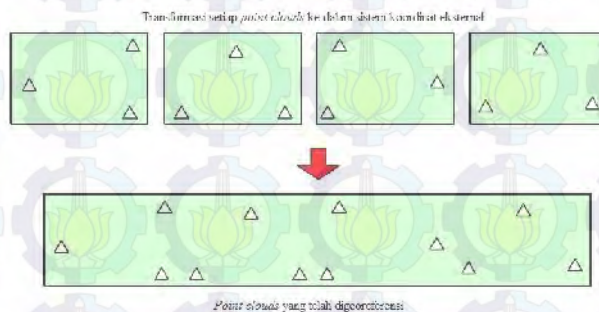
$x_i, y_i$  : koordinat awal  
 $A, B, C, D$  : fungsi transformasi  
 $s$  : perbesaran skala  
 $\theta$  : sudut rotasi  
 $t_x, t_y$  : arah translasi

Pada georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan dua tahap, terlebih dahulu dilakukan registrasi *point clouds* yang diambil dari beberapa tempat berdiri alat. Tahap ini biasa disebut dengan *global registration*. Setelah melakukan tahapan *global registration*, *point clouds* ditransformasikan ke koordinat sistem eksternal. Untuk melakukan transformasi, diperlukan minimal tiga titik kontrol yang terdistribusi secara merata. Ilustrasi georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan dua tahap bisa dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Georeferensi tidak langsung dengan dua tahap pendekatan  
 (Sumber : Jacobs (2005) dalam Reshetnyuk (2009))

Pada georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan satu tahap, tidak dibutuhkan pertampalan antara *scanning* dari tempat berdiri alat yang berbeda. Pada georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan satu tahap point clouds dapat ditransformasi ke dalam sistem koordinat eksternal dengan menggunakan titik kontrol. Pada tahap ini dibutuhkan minimal tiga titik kontrol pada masing-masing tempat berdiri alat. Ilustrasi georeferensi tidak langsung dengan pendekatan 1 tahap bisa dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Registrasi tidak langsung dengan pendekatan satu tahap  
(Sumber : Reshetyuk, 2009)

#### 2.2.9. Proses Validasi Data *Terrestrial Laser Scanner*

Validasi data pada TLS dilakukan karena terjadi distorsi geometrik antara point clouds dengan objeknya. Distorsi geometrik adalah ketidaksempurnaan geometri titik yang terdapat pada point clouds saat proses registrasi maupun proses georeferensi hal ini menyebabkan ukuran, posisi dan bangunan menjadi tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Urutan dari proses koreksi geometrik adalah (Purwadhi, 2001):

1. Melakukan rektifikasi (pembetulan) atau restorasi (pemulihan) agar koordinat point clouds sesuai dengan koordinat GCP.
2. Registrasi (mencocokkan) posisi titik *point clouds* pada

hasil *scanning* dengan titik GCP pada target yang telah ditentukan.

3. Registrasi titik target pada point clouds dari koordinat local ke koordinat hasil pengukuran ETS (koordinat global), sehingga menghasilkan sistim proyeksi koordinat tertentu.

Hubungan geometri antara koordinat point clouds (baris, kolom) dengan koordinat GCP (x, y) harus dapat diketahui. Hal ini dilakukan dengan mentransformasikan koordinat menggunakan titik-titik kontrol (Ground Control Point/GCP). GCP ini dapat diperoleh dari peta dasar lainnya atau melalui pengukuran di lapangan. Transformasi koordinat pada *point clouds* menggunakan model matematika tertentu yang dipilih sesuai kebutuhan, yang umum digunakan adalah model polinomial. Pada persamaan polinomial dengan orde- $t$ , maka jumlah minimal GCP yang diperlukan ( $n$ ) mengikuti Persamaan 3.4 (Jensen, 1996):

$$n = \frac{(t+1) \cdot (t+2)}{2} \quad (2.11)$$

dengan:

$n$  : jumlah GCP yang dibutuhkan

$t$  : orde persamaan yang diterapkan

Penentuan jumlah dan distribusi GCP akan mempengaruhi akurasi koreksi geometric. Untuk koreksi yang meliputi daerah yang tidak terlalu luas dan distorsi tidak terlalu besar digunakan Polinomial derajat 1 atau Affine 2D. Langkah selanjutnya adalah dilakukannya perhitungan Root Mean Square Error/RMSE (Persamaan 3.5) dan standar deviasi (Persamaan 3.6) hasil transformasi koordinat sehingga dapat diketahui kepresisian datanya. Minimal besarnya nilai RMSE yang dapat diterima adalah sebesar 0,5 piksel. Formula RMSE dan STD



adalah sebagai berikut (Jensen, 1996):

$$RMSE = \sqrt{\frac{(x' - x_{origin})^2 + (y' - y_{origin})^2}{n}} \quad (2.12)$$

$$\sigma_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((x_{origin} - x')^2 + (y_{origin} - y')^2)}{n - u}} \quad (2.13)$$

dengan:

- $x', y'$  : merupakan koordinat *point clouds* hasil koreksi geometrik  
 $(x, y)_{origin}$  : merupakan koordinat GCP pada bidang referensi  
 $n$  : jumlah GCP

### 2.3. Uji Statistik

Hipotesis merupakan jawaban sementara yang hendak diuji kebenarannya. Tidak semua penelitian memerlukan hipotesis, penelitian yang bersifat eksploratif dan deskriptif tidak memerlukan hipotesis. Pengujian hipotesis dengan distribusi t adalah pengujian hipotesis yang menggunakan distribusi t sebagai uji statistik. Tabel pengujiannya disebut tabel t-student. Distribusi t pertama kali diterbitkan pada tahun 1908 dalam satu makalah oleh W.S Gosset. Uji statistik ini kemudian dibandingkan dengan nilai yang ada pada tabel untuk kemudian menerima atau menolak hipotesis nol ( $H_0$ ) yang dikemukakan (Sugiyono, 2006).

Pengujian sampel dalam distribusi t dibedakan menjadi 2 jenis hipotesa, yaitu :

- a. Satu Rata – Rata

$$t_o = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}} \dots \dots \dots (2.14)$$



rumus diatas adalah untuk menghitung nilai t dengan to adalah nilai t yang dihitung,  $\bar{x}$  adalah rata-rata sampel,  $\mu$  adalah rata-rata populasi, s adalah standar deviasi dan n adalah jumlah sampel.

Penyusunan hipotesanya adalah :

i.  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_a : \mu_1 \neq \mu_2$

ii.  $H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$

$H_a : \mu_1 > \mu_2$

iii.  $H_0 : \mu_1 \geq \mu_2$

$H_a : \mu_1 < \mu_2$

Apabila data yang diambil dari hasil eksperimen, maka langkah yang harus dilakukan sebelum mencari t hitung adalah :

i. Menentukan rata-ratanya terlebih dahulu :

$$\bar{x}_i = \frac{\sum x}{n} \dots \dots \dots (2.15)$$

Rumus di atas adalah untuk mencari nilai rata-rata dari suatu sampel. Dengan  $\bar{x}_i$  adalah nilai rata-rata sampel,  $\sum x$  adalah sampel dan n adalah jumlah sampel.

ii. Menentukan standar deviasi :

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$s = \sqrt{s^2} \dots \dots \dots (2.16)$$

Rumus di atas adalah untuk mencari nilai standar deviasi dari suatu sampel. Dengan  $s^2$  adalah simpangan baku suatu sampel,  $\sum (x_i - \bar{x})^2$  adalah jumlah sampel dan s adalah standar deviasi.

b. Dua Rata – Rata

$$t_o = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_o}{\sqrt{(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)}} \dots\dots\dots(2.17)$$

Rumus di atas adalah untuk mencari nilai rata-rata dua kelompok sampel dengan syarat  $S_1 \neq S_2$ .  $\bar{X}$  adalah sampel (pertama dan kedua).  $d_o$  adalah selisih  $\mu_1$  dengan  $\mu_2$  ( $\mu_1 - \mu_2$ ).  $S$  adalah standar deviasi dan  $n$  adalah jumlah sampel.

Penyusunan hipotesanya adalah :

- i.  $H_o : \mu_1 - \mu_2 = d_o$   
 $H_a : \mu_1 - \mu_2 \neq d_o$
- ii.  $H_o : \mu_1 - \mu_2 \leq d_o$   
 $H_a : \mu_1 - \mu_2 > d_o$
- iii.  $H_o : \mu_1 - \mu_2 \geq d_o$   
 $H_a : \mu_1 - \mu_2 < d_o$

## 2.4. GPS

### 2.4.1 Definisi GPS

GPS adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Nama formalnya adalah NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*).



Gambar 2. 2 Satelit GPS  
(Sumber : Hasanuddin, 2012)

Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara berkelanjutan diseluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca. Pada saat ini sistem GPS sudah banyak digunakan orang diseluruh dunia, karena GPS mempunyai banyak kelebihan dan menawarkan banyak keuntungan, baik dari segi operasionalnya maupun kualitas posisi yang diberikan GPS didesain untuk memberikan informasi posisi, kecepatan dan waktu. Pada dasarnya GPS terdiri atas 3 segmen utama, yaitu:

- a. Segmen angkasa (*space segment*)  
Terdiri dari 24 satelit yang terbagi dalam 6 orbit dengan inklinasi  $55^\circ$  dan ketinggian 20200 km dan periode orbit 11 jam 58 menit.
- b. Segmen sistem kontrol (*control system segment*)  
Mempunyai tanggung jawab untuk memantau satelit GPS supaya satelit GPS dapat tetap berfungsi dengan tepat. Misalnya untuk sinkronisasi waktu, prediksi orbit dan monitoring “kesehatan” satelit.
- c. Segmen pemakai (*user segment*)  
Segmen pemakai merupakan pengguna, baik di darat, laut maupun udara, yang menggunakan receiver GPS untuk mendapatkan sinyal GPS sehingga dapat menghitung posisi, kecepatan, waktu dan parameter lainnya.

Sistem ini menggunakan 24 satelit yang mengirimkan sinyal gelombang mikro ke Bumi. Sinyal ini diterima oleh alat penerima di permukaan, dan digunakan untuk menentukan posisi, kecepatan, arah, dan waktu. Sistem yang serupa dengan GPS antara lain GLONASS Rusia, Galileo Uni Eropa, IRNSS India. Berikut ini adalah konfigurasi orbit satelit GPS (id.wikipedia.org, 2015) :

- a. *Orbital Shape : nominally circle ( $e < 0.02$ )*
- b. *6 orbital planes*



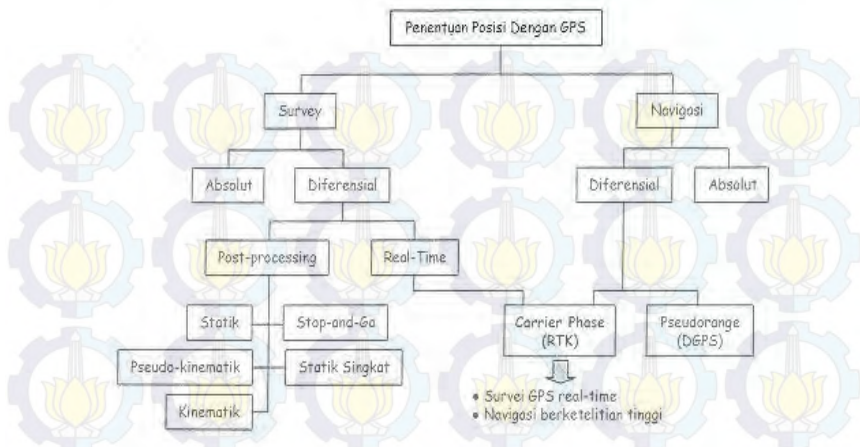
- c. *satellites per orbit*
- d. *Inclination : 550*
- e. *Mean altitude : 20.200 km*
- f. *Orbital period : 11hr and 58 minutes*

Beberapa kemampuan GPS antara lain dapat memberikan informasi tentang posisi, kecepatan, dan waktu secara cepat, akurat, murah, dimana saja di bumi ini tanpa tergantung cuaca. Hal yang perlu dicatat bahwa GPS adalah satu-satunya sistem navigasi ataupun sistem penentuan posisi dalam beberapa abad ini yang memiliki kemampuan handal seperti itu. Ketelitian dari GPS dapat mencapai beberapa mm untuk ketelitian posisinya, beberapa cm/s untuk ketelitian kecepatannya dan beberapa nanodetik untuk ketelitian waktunya. Ketelitian posisi yang diperoleh akan tergantung pada beberapa faktor yaitu metode penentuan posisi, geometri satelit, tingkat ketelitian data, dan metode pengolahan datanya (<http://geodesy.gd.itb.ac.id>, 2015).

#### 2.4.2 Metode Penentuan Posisi dengan GPS

Pada dasarnya konsep penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi (pengikatan kebelakang) dengan jarak, yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan pada beberapa satelit GPS yang koordinatnya telah diketahui. Posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi 3 dimensi (x,y,z atau  $\phi, \lambda, h$ ) yang dinyatakan dalam datum WGS (World Geodetic System) 1984, sedangkan tinggi yang diperoleh adalah tinggi ellipsoid (Hasanuddin,1999).





Gambar 2. 3 Metode dan sistem penentuan posisi dengan GPS  
(Sumber : Hasanuddin, 1999)

Metoda penentuan posisi dengan GPS pertama-tama terbagi dua, yaitu metoda absolut, dan metoda diferensial. Masing-masing metoda kemudian dapat dilakukan dengan cara real time dan atau post-processing. Apabila obyek yang ditentukan posisinya diam maka metodenya disebut Statik. Sebaliknya apabila obyek yang ditentukan posisinya bergerak, maka metodenya disebut kinematik. Selanjutnya lebih detail lagi kita akan menemukan metoda-metoda seperti SPP, DGPS, RTK, Survei GPS, *Rapid statik*, *pseudo kinematik*, dan *stop and go*, serta masih ada beberapa metode lainnya (<http://geodesy.gd.itb.ac.id>). Adapun pengelompokan metode penentuan posisi dengan GPS berdasarkan mekanisme pengaplikasiannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

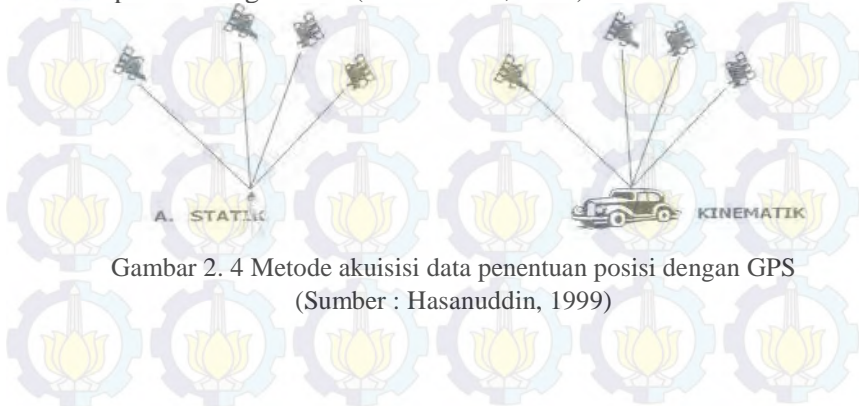
Tabel 2. 1 Metode Penentuan Posisi dengan GPS

(Sumber : Hasanuddin, 1999)

Metode	<i>Absolute</i> (1 receiver)	<i>Differensial</i> (min 2 receiver)	Titik	Receiver
<i>Static</i>	V	V	Diam	Diam
<i>Kinematic</i>	V	V	Bergerak	Bergerak
<i>Rapid static</i>		V	Diam	Diam (singkat)
<i>Pseudo kinematic</i>		V	Diam	Diam & bergerak
<i>Stop and go</i>		V	Diam	Diam & bergerak

#### 2.4.3 Penentuan Posisi Metode Survei Statik

Titik-titik yang akan ditentukan posisinya dalam penentuan posisi metode statik adalah titik yang tidak bergerak. Bisa berupa *absolute* ataupun *differential positioning* dan bisa menggunakan data pseudorange dan/atau fase. Ukuran lebih pada suatu epok pengamatan biasanya banyak daripada metode lainnya. Keandalan dan ketelitian posisi yang diperoleh umumnya tinggi (orde mm sampai cm). Aplikasi metode survei ini antara lain untuk penentuan titik-titik kontrol untuk survai pemetaan maupun survai geodetik (Hasanuddin, 1998).



Gambar 2. 4 Metode akuisisi data penentuan posisi dengan GPS  
(Sumber : Hasanuddin, 1999)

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini adalah di jembatan utama Suramadu pada bentang tengah, yaitu dengan memberikan titik ICP sebanyak 20 titik yang akan diletakkan tersebar sepanjang  $\pm 1$  km mulai dari koordinat  $7^{\circ}11'24.23''\text{LS}$  ;  $112^{\circ}46'47.54''\text{BT}$  sampai dengan koordinat  $7^{\circ}10'50.63''\text{LS}$  ;  $112^{\circ}46'49.70''\text{BT}$  Lokasi dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Lokasi Pengukuran Jembatan Nasional Suramadu  
(Sumber: BPWS, 2015)



### 3.2 Data dan Peralatan

#### 3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data ukuran bidang kalibrasi.
2. Data spesifikasi *Terrestrial Laser Scanner* GEOMAX ZOOM300 yaitu sebagai berikut :
  - a. Jarak pemindaian terjauh 300m
  - b. Rata-rata pemindaian 40.000 points/sec
  - c. Akurasi 6mm @ 50m
  - d. 2 kamera terintegrasi 5+5 Mpx
  - e. Integrasi dengan data GPS
  - f. *Laser class 1* – aman tanpa proteksi mata
  - g. Kuat dan ringan (7 kg termasuk baterai)
  - h. Lebih dari 6 jam dalam pekerjaan berkelanjutan dengan 2 baterai yang tersedia
  - i. Temperatur pengoperasian dari suhu -10°C sampai +50°C
  - j. *Wi-Fi functionality* – mengoperasikan pemindai langsung dari PC atau *Smartphone* (iOS, Android dan *Windows Mobile*)
3. Data ukuran geometris Jembatan Suramadu Jawa Timur (Sumber: BPWS, 2015).

#### 3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

##### A. Perangkat Keras (*Hardware*)

1. *Terrestrial Laser Scanner* GEOMAX ZOOM 300
2. Electronic Total Station (ETS).
3. Penggaris atau pita ukur
4. Tribrach
5. Statif
6. Laptop.
7. GPS Geodetik dan kelengkapannya untuk mengukur titik referensi/koordinat Bench Mark

##### B. Perangkat Lunak (*Software*)

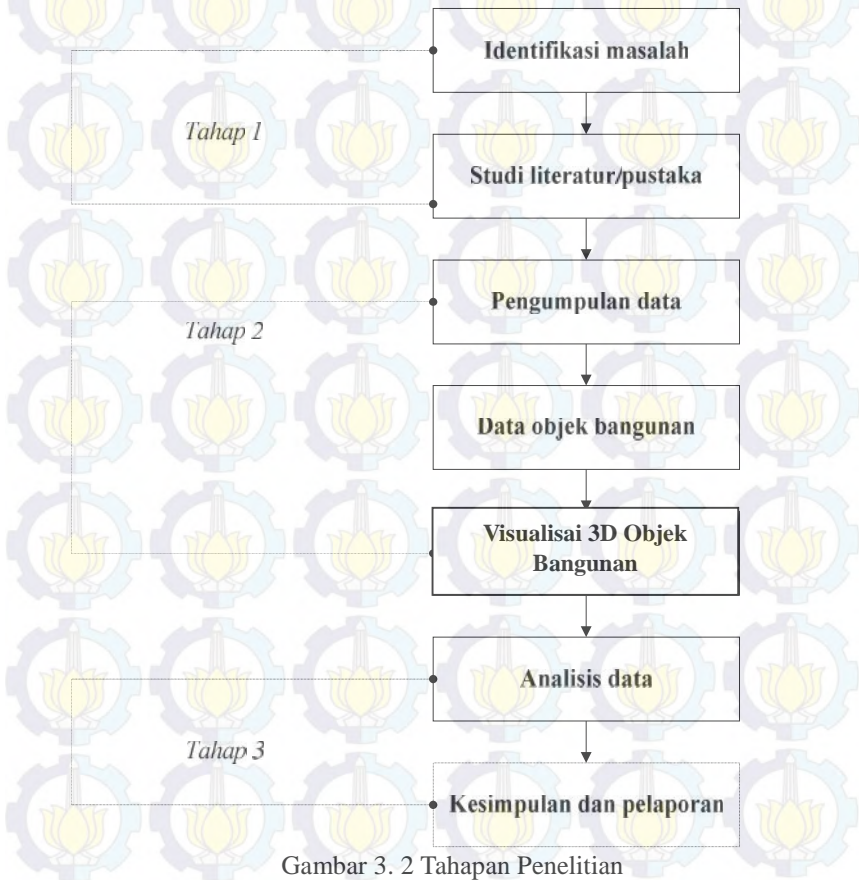


1. *Software CloudCompare (Open Source).*
2. *Software pengolahan 3D Modelling*

### 3.3 Metodologi Penelitian

#### 3.3.1 Tahapan Pelaksanaan

Adapun diagram alir tahapan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Tahapan Penelitian

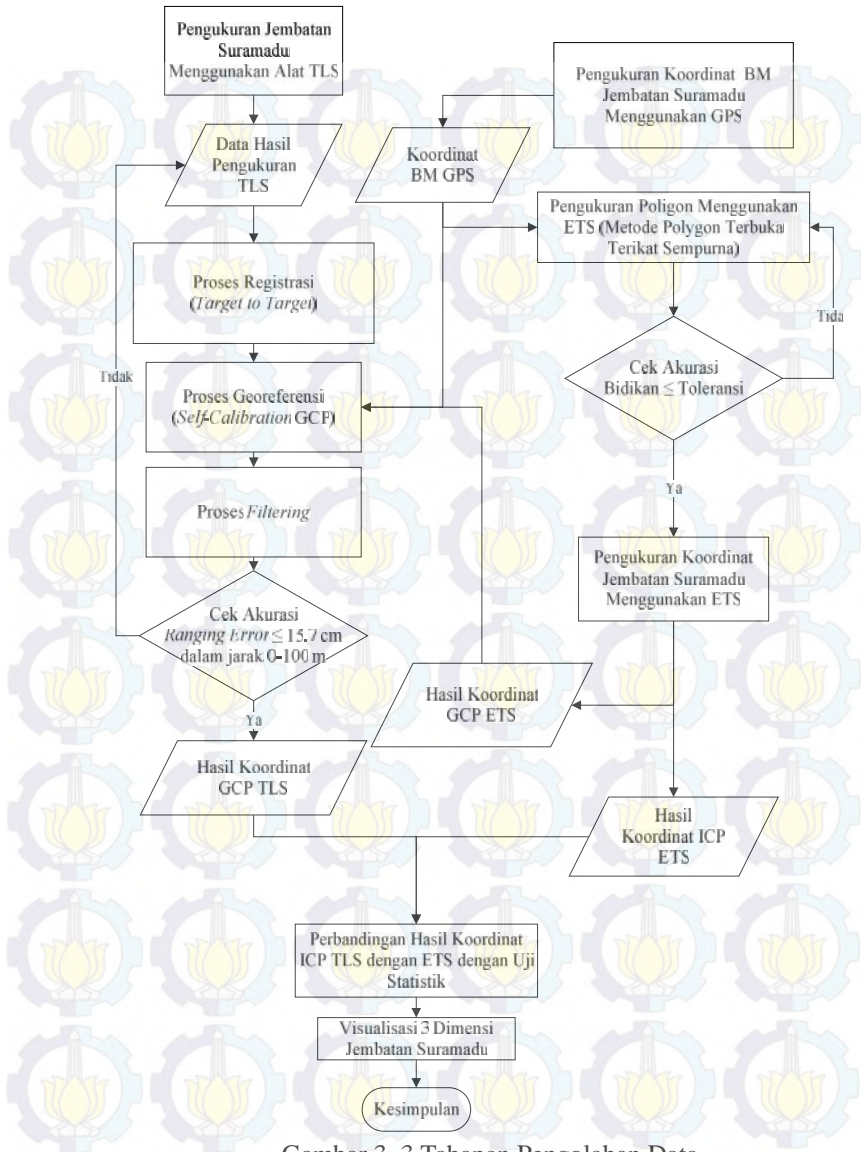
Penjelasan dari diagram tahapan penelitian di atas sebagai berikut.

1. Identifikasi masalah, dalam tahapan ini terlebih dahulu penulis melihat fakta serta perkembangan suatu permasalahan. Dari hal tersebut dapat dirumuskan suatu permasalahan yang diangkat. Agar pembahasan lebih terarah dituliskan juga batasan masalah yang dibahas dalam suatu penelitian.
2. Studi literatur/pustaka, dalam tahapan ini penulis mulai mempelajari referensi terkait topik yang diangkat. Hal ini merupakan landasan dalam menganalisis dan menyelesaikan suatu permasalahan.
3. Pengumpulan data, tahapan ini adalah tahapan dimana penulis mulai melakukan pengumpulan data, baik data itu berupa data primer maupun data sekunder. Dari data ini akan dilakukan pengolahan untuk menjawab permasalahan yang ada. Data utama yang diambil adalah data objek pemodelan bangunan. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*, *Electronic Total Station*, GPS Geodetik dan menggunakan alat ukur jarak untuk menentukan data koordinat dan geometrisnya.
4. Pengolahan data, tahap ini dilakukan untuk pengolahan data yang sudah terkumpul dalam ruang lingkup masalah yang sedang dikaji. Mulai dari melakukan pengolahan data *point clouds* hingga dapat digunakan untuk keperluan visualisasi bangunan. Pada pemodelan bangunan ini digunakan *software* pengolahan 3D point clouds.
5. Analisis data, setelah data diolah, selanjutnya data tersebut dianalisis sehingga mendapatkan suatu fakta terkait masalah yang dikaji. Dari tahapan ini dapat dilihat apakah penelitian yang dilakukan sesuai dengan teori yang sudah ada atau melahirkan fakta baru.
6. Kesimpulan, pada tahap ini disimpulkan hasil penelitian

yang telah dilakukan berdasarkan hasil analisa. Kemudian membuat pelaporan hasil penelitian secara keseluruhan, sehingga bisa menjadi pengetahuan baru untuk penelitian selanjutnya.

### 3.3.2 Tahapan Pengolahan Data

Adapun diagram alir tahapan pengolahan data pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*, *Global Positioning System* dan *Electronic Total Station* dalam penelitian ini adalah seperti gambar 3.3 berikut.



Gambar 3. 3 Tahapan Pengolahan Data



Penjelasan dari diagram pengolahan data sebagai

1. Melakukan pengukuran 3D dengan menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)
2. Registrasi adalah langkah pertama pengolahan yaitu transformasi semua *point clouds* dari sistem pemindai dalam koordinat lokal ke dalam sistem koordinat yang dituju. Tiga proses yang tersedia untuk registrasi *point clouds* sebagai berikut (Cyra, 2003.). :
  - a. Registrasi dilakukan untuk *point clouds* dengan ketelitian  $\pm 10$  mm.
  - b. Registrasi dapat menggunakan tiga buah target sebagai titik sekutu untuk meningkatkan akurasi.
  - c. Langkah terakhir dalam registrasi adalah, transformasi *Point clouds* ke sistem koordinat geodetik lokal menggunakan 7 titik kontrol yang ditentukan dengan standar deviasi kurang dari 2 cm menggunakan Total Station.
3. Melakukan filterisasi pada *noisy point* pada *point clouds* setelah registrasi.
4. Melakukan pengukuran Titik *Benchmark* (BM) menggunakan GPS Geodetik
5. Melakukan pengukuran poligon terbuka terikat sempurna menggunakan alat ETS dan memenuhi toleransi salah penutup sudut dan salah linier jarak.
6. Melakukan pengukuran Titik *Ground Control Point* (GCP) maupun *Independet Check Point* (ICP) yang dipasang tersebar disepanjang jembatan, sebagaai titik acuan untuk melakukan georeferensi dan analisa perhitungan koordinat.
7. Melakukan penghitungan poligon tertutup dan mengikatkannya ke titik BM.
8. Proses Georeferensi dilakukan dengan cara transformasikan koordinat lokal hasil dari pengukuran

*Terrestrial Laser Scanner* ke dalam koordinat global yang telah diukur menggunakan total station dan GPS Geodetik.

9. Menganalisa dan membandingkan GCP dan ICP antara hasil pengukuran TLS dan ETS.
10. Plotting, pembuatan 3D modelling dan analisa hasil
11. Visualisasi hasil Jembatan Suramadu Jawa Timur

## BAB IV HASIL DAN ANALISA

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.1 Hasil Pengamatan GPS

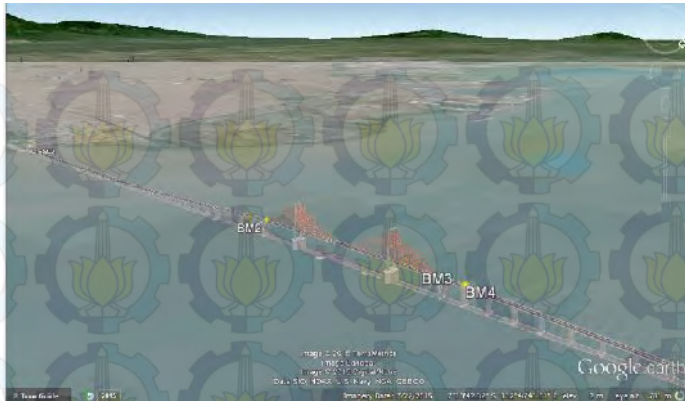
Pengamatan GPS pada penelitian ini bertujuan dalam penentuan posisi titik BM yang digunakan untuk pembuatan kerangka kontrol. Pengukuran lapangan dilakukan untuk mendapatkan data terkini tentang kondisi di lapangan, data ini akan dijadikan sebagai acuan posisi dan ketinggian.

Pengukuran lapangan ini membutuhkan alat *GPS Geodetic* dan Data GPS kemudian diolah menggunakan *software* pengolah data *GPS Geodetic*. Berikut adalah hasil pengukurannya

Tabel 4.1 Data Koordinat GPS

Name	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)
<b>BM1</b>	9204882.706	696558.645	68.768
<b>BM2</b>	9204956.576	696543.682	70.238
<b>BM3</b>	9205775.680	696619.921	70.155
<b>BM4</b>	9205839.532	696604.664	68.935
<b>KJSS02 (Base)</b>	9202797.752	696381.947	34.383

Pada tabel 4.1 didapatkan informasi mengenai koordinat dari setiap titik pengukuran GPS bersama ketelitian yang didapatkan. Titik – titik tersebut selanjutnya digambarkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 1 Posisi rover

Pada gambar 4.1 diperlihatkan letak base dan GPS Rover dari pengukuran GPS adalah berada diarea Jembatan Suramadu Surabaya.

Pengukuran GPS menggunakan metode statis dengan meletakkan GPS Base pada titik yang ditentukan yang berada di ujung lapangan area Jembatan Suramadu. Pengukuran ditujukan untuk mencari selisih ketinggian dari elipsoid pada BM dan objek yang akan dilakukan pengukuran, sehingga dapat diketahui kemiringan permukaan jembatan yang ada. Data kemiringan ini diperlukan untuk melakukan perhitungan pada data ketinggian GCP (*Ground Control Point*) maupun *Independent Check Point* (ICP), sehingga ketinggian bangunan yang diukur telah beracuan pada referensi BM pada Jembatan Suramadu.

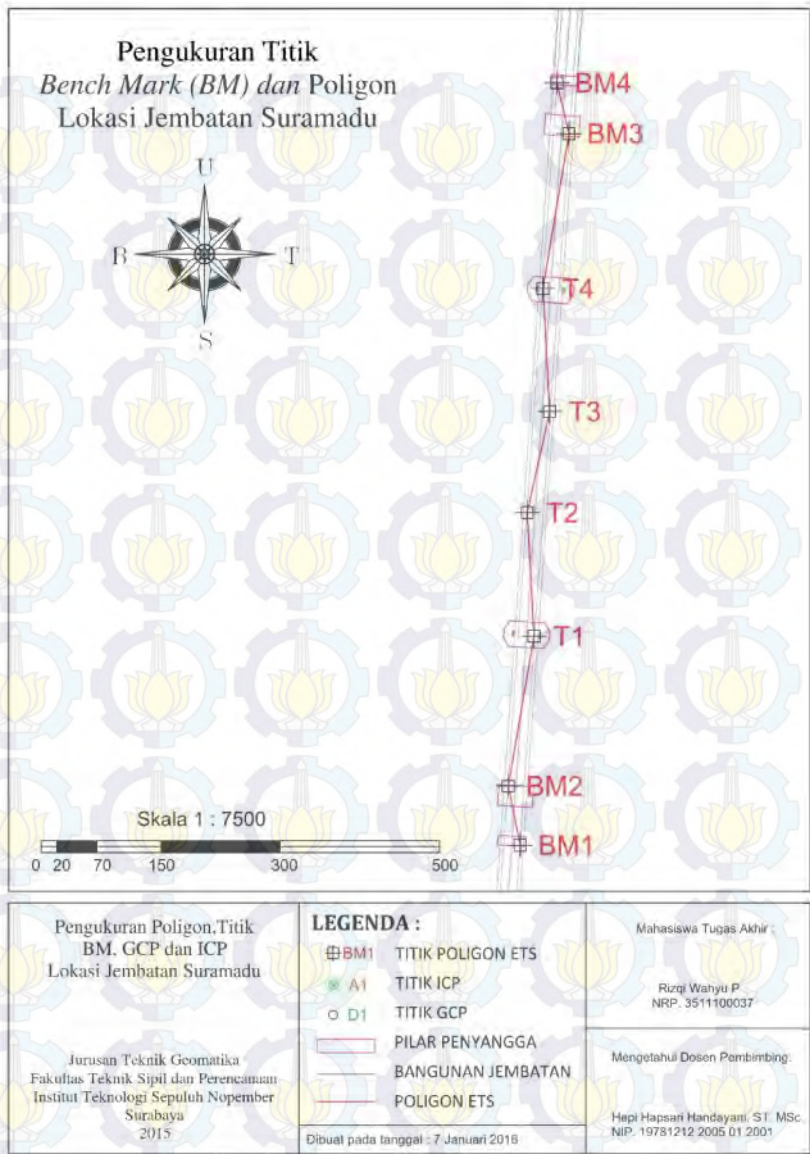
#### 4.1.2 Hasil Pengukuran Kerangka Kontrol

Kerangka kontrol pada penelitian ini digunakan dalam pengukuran titik kontrol pada objek. Alat yang digunakan dalam pengukuran kerangka kontrol adalah Total Station. Data yang diambil dalam pengukuran adalah sudut horizontal, sudut zenith, dan jarak miring. Hasil dari pengamatan GPS digunakan sebagai titik ikat dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.2.



Tabel 4.2 Data Koordinat Kerangka Kontrol

Name	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)
BM 1	9204882.706	696558.645	68.768
BM 2	9204956.576	696543.682	70.238
T1	9205144.680	696576.035	72.066
T2	9205299.854	696567.506	73.185
T3	9205426.465	696595.657	73.192
T4	9205581.112	696587.183	72.089
BM 3	9205775.609	696619.958	70.060
BM 4	9205839.465	696604.713	68.834



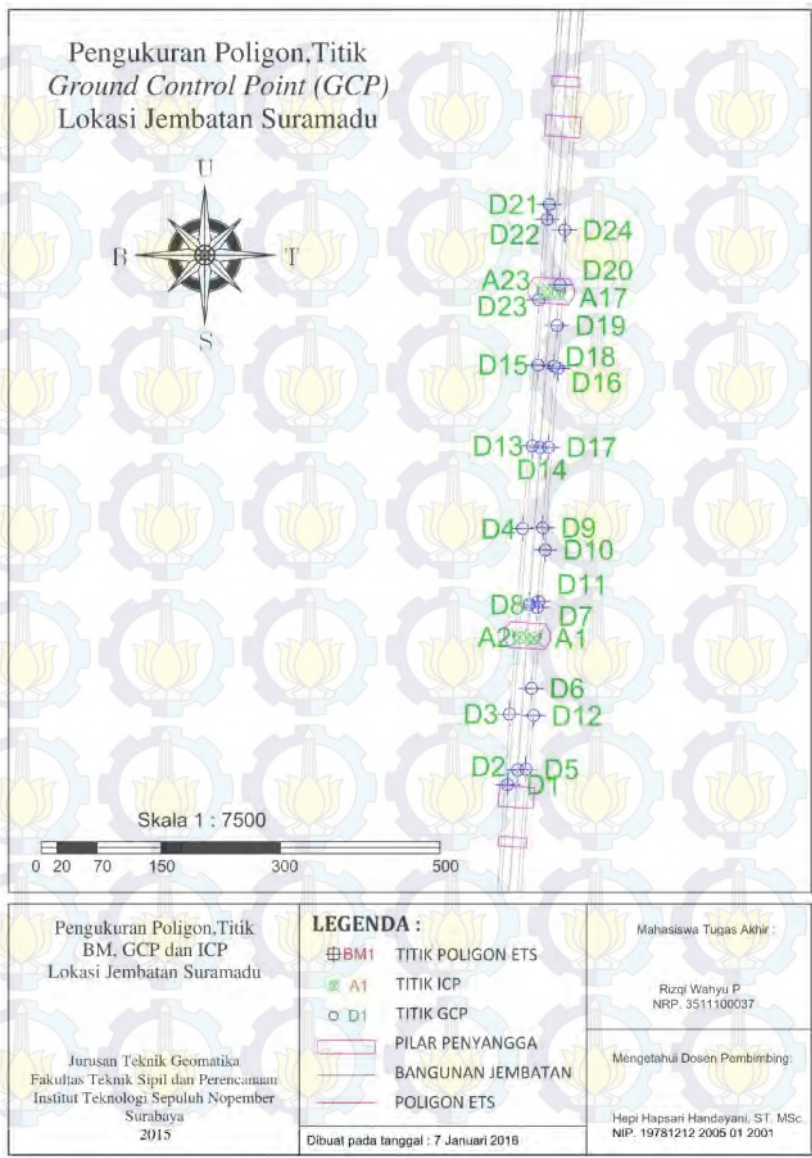
Gambar 4.2 Bentuk Kerangka Kontrol

Pengukuran kerangka kontrol berbentuk polygon terbuka terikat sempurna. Polygon ini menyusuri area utama Jembatan Suramadu dengan persebaran 8 titik di bentang tengah Jembatan Suramadu baik dari arah Surabaya maupun arah Madura.

#### 4.1.3 Hasil Pengukuran Titik Kontrol

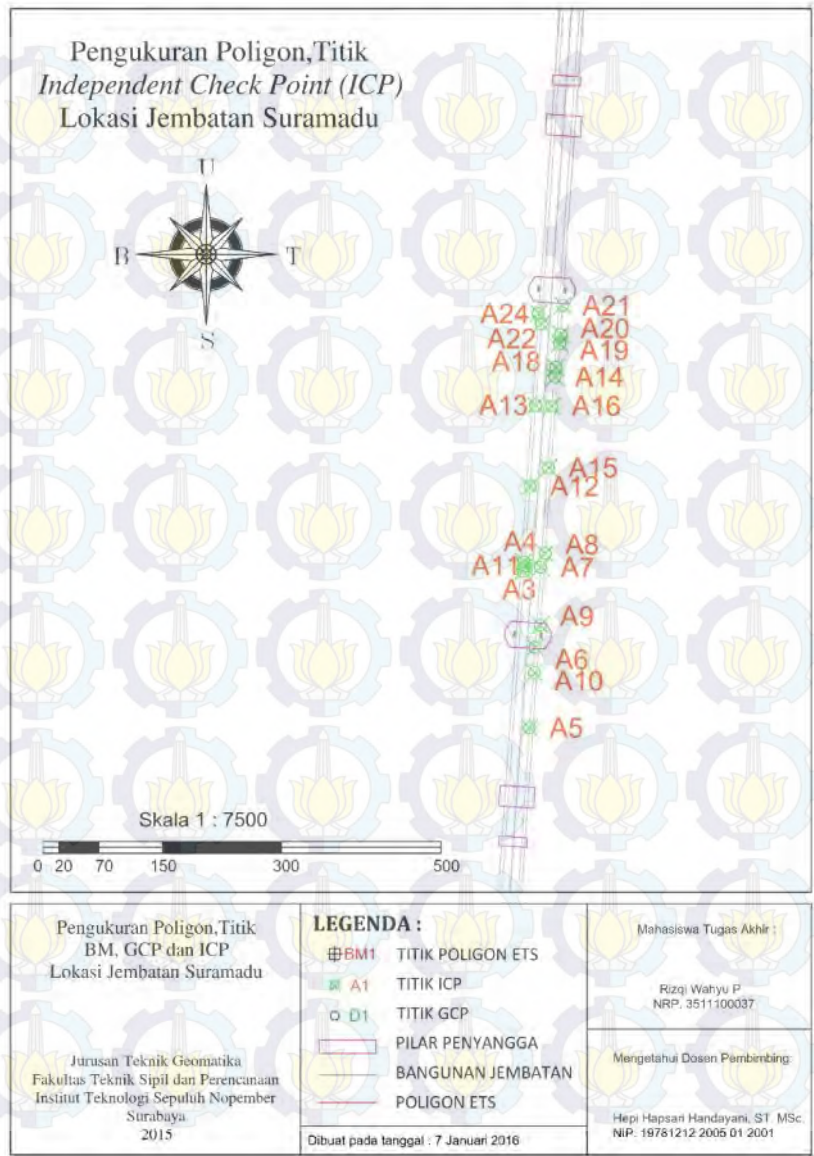
Sama halnya dengan pengukuran kerangka kontrol, alat yang digunakan dalam pengukuran titik kontrol pada objek adalah Total Station dan data yang diambil adalah sudut horizontal, sudut zenith, dan jarak miring. Untuk titik yang tidak bisa dijangkau prisma, sudut horizontalnya dicatat dan koordinat (*northing* dan *easting*) akan didapatkan melalui pengikatan ke muka, sedangkan elevasi didapatkan melalui perhitungan tinggi bangunan.

Dari pengukuran kerangka kontrol dapat mengetahui beberapa titik objek yang ingin diketahui. Dalam hal ini objek yang ingin diketahui posisinya adalah objek Jembatan Suramadu. Berikut adalah hasil gambar dan posisi koordinatnya:



Gambar 4.3 Posisi Titik GCP ETS





Gambar 4.4 Posisi ICP ETS

Tabel 4.3 Data Koordinat Titik ICP ETS

<b>Nama</b>	<b>Northning (m)</b>	<b>Easting (m)</b>	<b>Elevation (m)</b>
<b>A3</b>	9205226.721	696560.757	76.237
<b>A4</b>	9205238.691	696561.583	76.743
<b>A5</b>	9205030.253	696568.639	71.693
<b>A6</b>	9205131.364	696575.714	72.631
<b>A7</b>	9205231.763	696582.748	73.616
<b>A8</b>	9205248.915	696588.569	75.859
<b>A9</b>	9205159.043	696582.233	75.076
<b>A10</b>	9205099.63	696574.709	75.108
<b>A11</b>	9205232.879	696562.351	73.613
<b>A12</b>	9205333.646	696569.404	73.954
<b>A13</b>	9205434.671	696576.489	73,875
<b>A14</b>	9205470.395	696600.644	76.9
<b>A15</b>	9205356.541	696592.645	76.444
<b>A16</b>	9205433.828	696596.869	73,863
<b>A18</b>	9205482.49	696601.446	76.504
<b>A19</b>	9205512.134	696606.89	75.998
<b>A20</b>	9205524.116	696607.814	75.621
<b>A21</b>	9205560.1	696610.339	75.228
<b>A22</b>	9205537.303	696583.63	73.323
<b>A24</b>	9205550.176	696579.957	75.376

**Tabel 4.4 Data Koordinat GCPETS**

<b>Nama</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Easting (m)</b>	<b>Elevation (m)</b>
<b>D1</b>	9204959,627	696542,108	73,709
<b>D2</b>	9204978,33	696554,778	72,518
<b>D3</b>	9205048,397	696544,421	74,725
<b>D4</b>	9205280,845	696561,042	75,973
<b>D5</b>	9204979,107	696565,043	71,134
<b>D6</b>	9205080,281	696572,145	72,246
<b>D7</b>	9205181,724	696579,219	73,14
<b>D8</b>	9205185,467	696569,346	74,566
<b>D9</b>	9205281,852	696586,262	73,827
<b>D10</b>	9205254,001	696589,248	76,575
<b>D11</b>	9205189,23	696581,012	76,23
<b>D12</b>	9205046,379	696574,716	74,709
<b>D13</b>	9205384,737	696572,983	73,949
<b>D14</b>	9205382,663	696583,105	75,372
<b>D15</b>	9205486,133	696580,101	73,672
<b>D16</b>	9205482,169	696604,877	75,86
<b>D17</b>	9205383,03	696593,298	73,981
<b>D18</b>	9205484,98	696600,461	73,658
<b>D19</b>	9205535,86	696604,043	73,279
<b>D20</b>	9205586,981	696607,626	72,801
<b>D21</b>	9205688,051	696594,279	71,942
<b>D22</b>	9205669,417	696591,748	74,823
<b>D23</b>	9205568,112	696581,264	75,201
<b>D24</b>	9205655,861	696613,611	74,92
<b>A1</b>	9205143,184	696575,59	117.925
<b>A2</b>	9205144,344	696557,102	117.879

Nama	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)
A17	9205575.978	696605.795	117.357
A23	9205577.221	696587.344	117.350

Dari tabel 4.3 terlihat koordinat X, Y, dan elevasi dari 25 objek bangunan pada jembatan dilakukan pengukuran. Posisi GCP yang dilakukan pengukuran berada pada area sekitar Jembatan Suramadu. Pengukuran GCP tersebut digunakan untuk mendapatkan titik target untuk keperluan registrasi dan 4 titik diantaranya yaitu A1, A2, A17 dan A23 adalah titik objek yang menjadi acuan georeferensi Jembatan Suramadu dengan ketinggian yang bervariasi beserta posisi koordinatnya. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk analisa koordinat dan proses georeferensi pada hasil data *Terrestrial Laser Scanner*.

#### 4.1.4 Perencanaan *Terrestrial Laser Scanner*

Dalam penelitian ini menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* dimana dalam penentuan perencanaan penelitian membutuhkan sebuah rencana pengukuran. Sehingga *Terrestrial Laser Scanner* diletakkan pada titik-titik posisi dimana daerah penelitian berada. Berikut merupakan gambaran *site plan* posisi alat *Terrestrial Laser Scanner* berdiri.



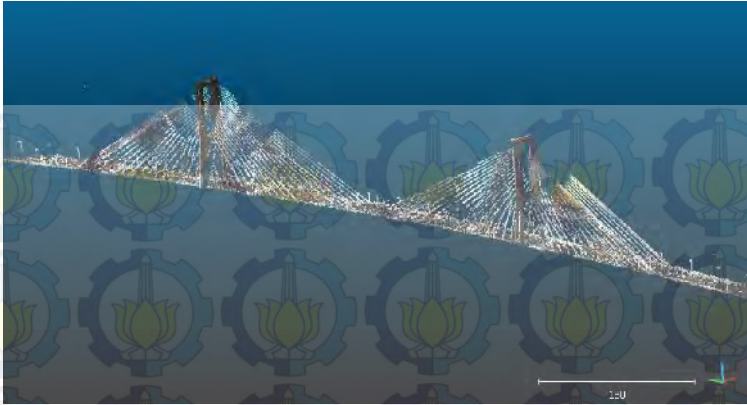
Gambar 4.5 Sebaran Titik Berdiri Alat *Terrestrial Laser Scanner*



Pada gambar diatas *Terrestrial Laser Scanner* berdiri pada 11 titik dan titik tersebut berada di luar kerangka pengukuran menggunakan *Electronic Total Station*. Dengan jarak tiap titik berdiri alat *Terrestrial Laser Scanner* adalah kurang lebih 100m. Setelah dibuat perencanaan tempat dimana *Terrestrial Laser Scanner* berdiri maka dapat dilaksanakan pengukuran dengan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*.

#### 4.1.5 Pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*

Dalam penelitian ini pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* menggunakan metode “*fast*” dalam Geomax Zoom 300 dengan 11 titik berdiri alat *Terrestrial Laser Scanner*. Dengan jumlah *point clouds* yang dihasilkan sebanyak 10.809.929 titik. Jarak yang digunakan pada setiap titik berdiri alat adalah per 100 meter dengan panjang total bentang tengah yaitu 950 meter, sesuai dengan *site plan* perencanaan pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*. Hasil yang didapatkan dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* ini adalah *point clouds* daerah penelitian. *Point Clouds* hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* selanjutnya akan diolah untuk dapat divisualisasikan. Untuk data dari pengukuran dapat dilihat di data yang terlampir. Dibawah ini merupakan gambar hasil dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*.



Gambar 4.6 *Point Clouds* Jembatan Suramadu

#### 4.1.6 Georeferensi

Dalam proses georeferensi ini memerlukan 4 titik GCP yang digunakan didapat hasil pengukuran detil yaitu titik A1, A2, A17 dan A23, titik tersebut dipilih dikarenakan memiliki noise yang sedikit dan mudah untuk diketahui posisinya. Pada proses georeferensi pada titik GCP di pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* berdasarkan acuan pada hasil pengukuran polygon menggunakan GPS dan Total Station.

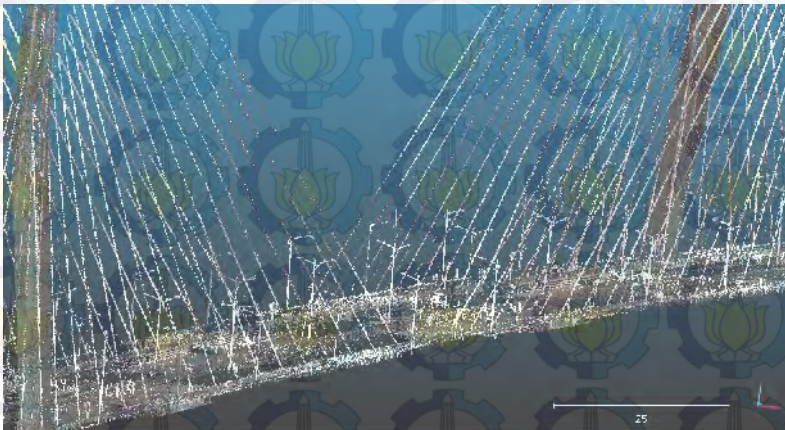
Setelah dilakukan proses georeferensi maka akan diketahui koordinat pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* yang sudah terkoreksi. pada tabel 4.4 memaparkan hasil dari koordinat yang telah tergeoreferensi.

Tabel 4.5 Hasil Proses Georeferensi

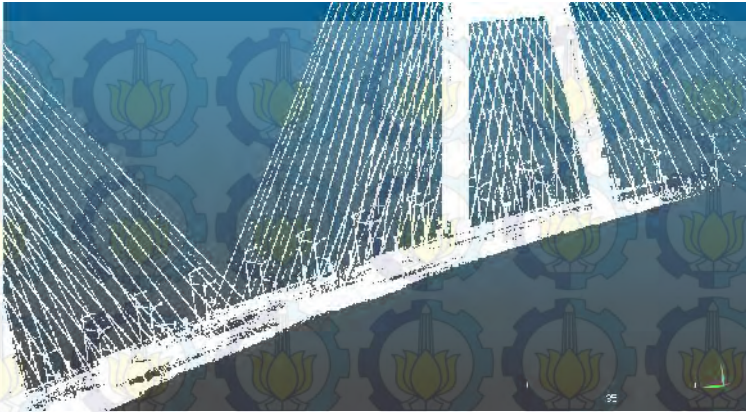
Name	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)
<b>R0</b>	9205143.1597	696575.5657	117.9007
<b>R1</b>	9205144.3201	696557.0781	117.8551
<b>R2</b>	9205575.9537	696605.7707	117.3327
<b>R3</b>	9205577.1860	696587.309	117.3150

#### 4.1.7 *Filtering*

Proses *filtering* bertujuan untuk membuang titik yang tidak diperlukan dari data *point clouds*. Proses ini dilakukan secara manual pada *software* pengolahan data 3D yaitu dengan menghilangkan objek-objek yang tidak diperlukan yang terdapat pada Jembatan Suramadu, misalkan kendaraan, berikut adalah contoh sebelum dan sesudah proses *filtering* untuk data Jembatan Suramadu:

Gambar 4.7 *Point Clouds* Jembatan Suramadu Sebelum Proses *Filtering*

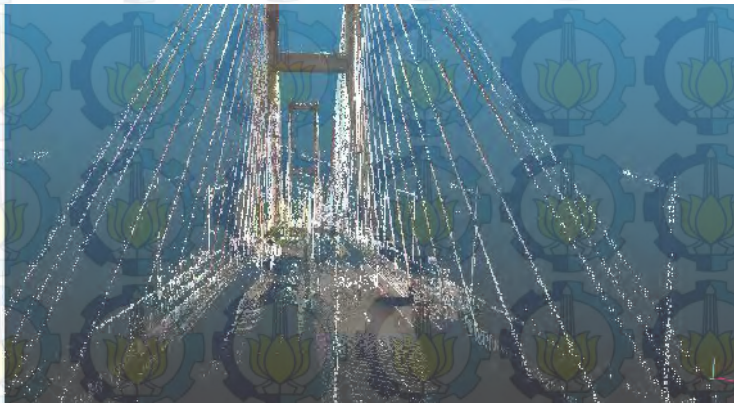




Gambar 4.8 *Point Clouds* Jembatan Suramadu Setelah Proses *Filtering*

Jumlah titik dalam *point clouds* Jembatan Suramadu mengalami penurunan hingga 44%, yaitu dari 10.809.929 menjadi hanya 6.037.915 titik.

#### 4.1.8. Visualisasi Tiga Dimensi



Gambar 4.9 Gambar Visualisasi 3D Jembatan Suramadu (dari arah Surabaya)





Gambar 4.9 Gambar Visualisasi 3D Jembatan Suramadu (dari arah Madura)

Gambar 4.8 dan 4.9 ini menunjukkan hasil dari proses visualisasi tiga dimensi yang didapat setelah melakukan proses georefensi hasil pengukuran TLS. Pada gambar tersebut menunjukkan gambaran daerah penelitian yang didapat dengan menggunakan *open source software* Cloudcompare. Sehingga dapat dianalisa proses visualisasi tiga dimensinya.

## 4.2 Analisa Penelitian

### 4.2.1 Analisis Polygon

Berdasarkan analisa yang didapat dari hasil pengukuran polygon maka dapat diketahui beberapa kesalahan yang terjadi. Kesalahan-kesalahan tersebut antara lain kesalahan sudut dan linier jarak. Kesalahan sudut dan jarak tidak bisa dihindari, oleh karena itu diperlukan nilai toleransi kesalahan sudut dan jarak agar posisi dan jarak memiliki keakuratan yang baik.

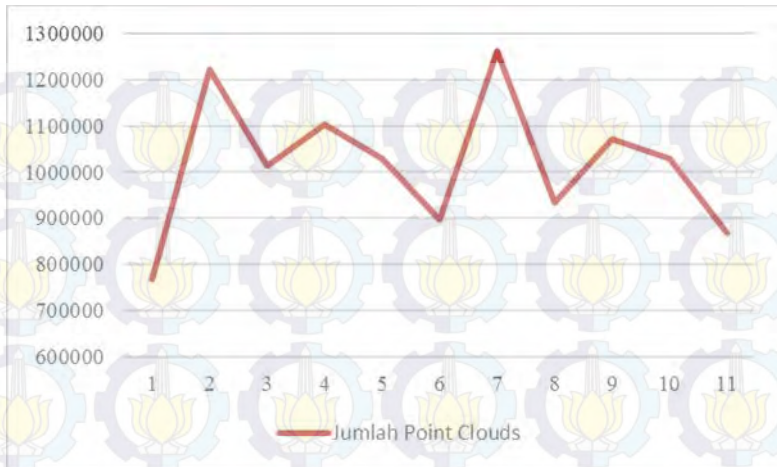
Tabel 4.6 List Kesalahan dan Toleransi Koreksi Sudut dan Jarak

Kesalahan Sudut (detik)	Toleransi Sudut (detik)	Kesalahan Jarak (meter)	Toleransi Jarak (meter)
9	12	0,000342	0,0004

Dari tabel 4.5 dapat diketahui bahwa kesalahan jarak sebesar 0,000342 dan kesalahan sudut adalah sebesar 9,52". Pada toleransi sudut yang memiliki rumus  $f\beta \leq i\sqrt{n}$  dimana  $f\beta$  sebesar 9,52" yang berasal dari hasil hitungan koreksi total penutup sudut,  $i$  merupakan bacaan alat pada ETS yaitu 5" dan  $n$  merupakan jumlah sudut yang diukur yaitu berjumlah 8. Sedangkan pada toleransi jarak berasal dari rumus  $\frac{\sqrt{fx^2 - fy^2}}{\sum D} \leq \frac{1}{10000}$ , kesalahan jarak berasal dari hasil bagi antara kesalahan linier dengan  $\sum D$  yaitu jumlah jarak antar sudut. Dari pemaparan kesalahan jarak dan sudut tersebut dapat dikatakan polygon ini memenuhi toleransi sudut dan memenuhi toleransi jarak.

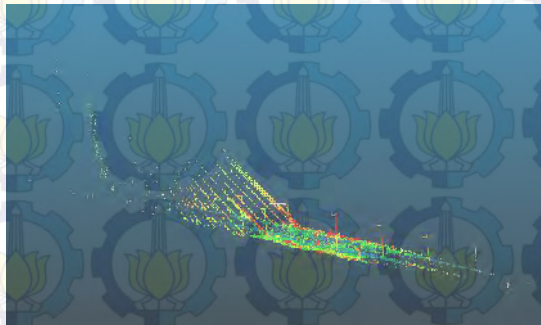
#### 4.2.2 Analisis Pengukuran Terrestrial Laser Scanner

Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa pengukuran menggunakan jenis kualitas "mode fast" memiliki total durasi waktu pengukuran yang relatif cepat yaitu 45 menit 50 detik dengan jumlah *point clouds* yang dihasilkan sebanyak 10.809.929 titik. Jarak grid point clouds sebesar 15.70cm untuk jarak rentang berdiri alat dengan obyek sejauh 100meter, sehingga memiliki beberapa spot yang kosong untuk pengukuran jarak *scanning* lebih dari 100m.



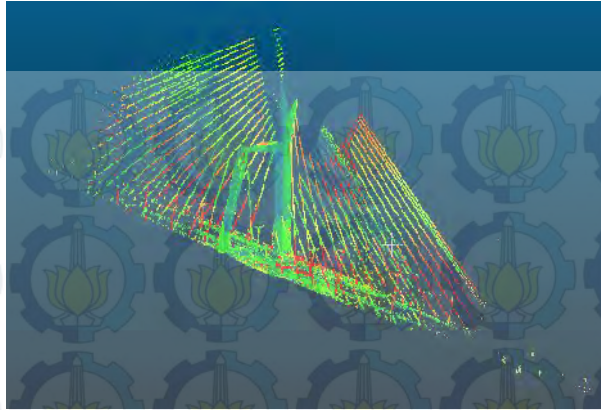
Gambar 4.10 Grafik total sebaran *point clouds* di setiap titik berdiri alat

Pada gambar 4.9 terlihat hanya sedikit objek yang terpindai karena posisi berdiri alat titik ke-1 ini terdapat pada perbatasan jembatan penghubung dan bentang utama jembatan. Di selatan titik tidak bisa terpindai banyak karena terletak pada lengkung turunan jalan pada jembatan, sedangkan di utara yang dapat terpindai hanya sebagian kecil jalan, pilar jembatan maupun kabel penopang jembatan dikarenakan lokasi yang cukup jauh dari pilar utama.



Gambar 4.11 Sebaran *point clouds* di posisi berdiri alat titik ke-1





. Gambar 4.12 Sebaran *point clouds* di posisi berdiri alat titik ke-7

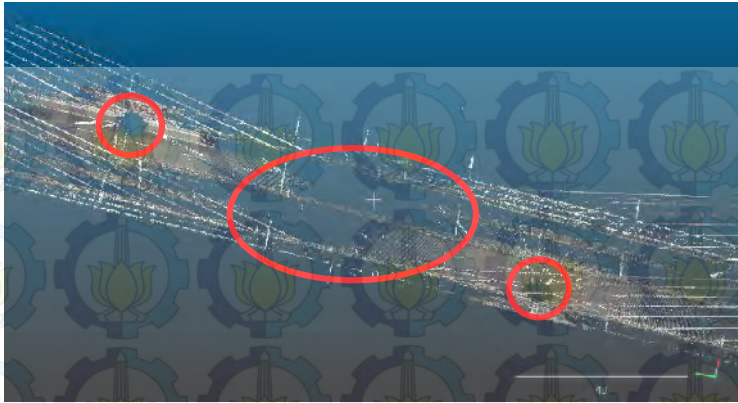
Pada gambar 4.11 terlihat sebaran *point clouds* berjumlah lebih banyak dibandingkan dengan gambar 4.10. Sebab pada posisi berdiri alat ke-7 terletak di antara kabel baja penyangga dan pilar penyangga jembatan di bentang utama Jembatan Suramadu, sehingga banyak objek yang dapat terdipindai dalam radius pemindaian TLS 300 m.

Terdapat spot yang kosong dalam pengukuran TLS apabila jarak *scanning* lebih dari 100 m serta ketidakmampuan TLS dalam menjangkau objek. Berikut beberapa gambar spot kosong hasil dari *terrestrial laser scanning*.

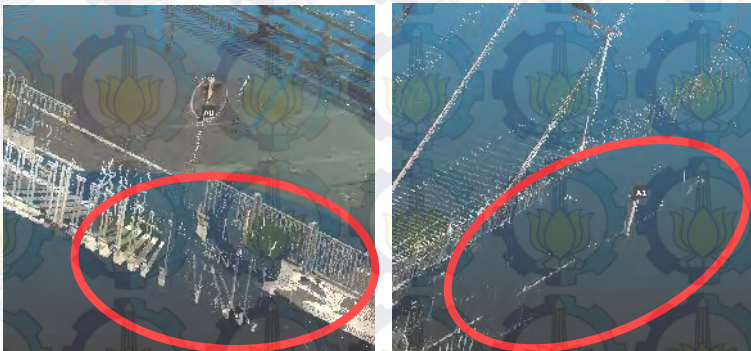


Gambar 4.13 Lokasi spot kosong di pilar utama Jembatan Suramadu





Gambar 4.14 Lokasi spot kosong di bentang tengah Jembatan Suramadu



Gambar 4.15 & 4.16 Lokasi spot kosong di bentang tengah Jembatan

Suramadu Pada gambar di atas menunjukkan bahwa terdapat beberapa lokasi dengan titik-titik kosong (*blank spot*), hasil *scanning* TLS di jembatan suramadu dikarenakan; pertama, lokasi tersebut merupakan lokasi tempat berdiri alat TLS sehingga terdapat ruang kosong disekitar alat yang membentuk lingkaran dengan diameter 5m dengan pusat lingkaran terdapat pada koordinat pusat putaran alat TLS. kedua lokasi tersebut tidak dapat terjangkau oleh bidikan laser terrestrial laser scanner dikarenakan terhalang oleh objek yang berupa tembok, beton atau

dapat juga dikarenakan jarak berdiri antar alat TLS yang kurang rapat, sehingga terdapat beberapa spot kosong (*blank spot*).

#### 4.2.3 Analisis Proses Georeferensi

Pada proses georeferensi dari hasil pengukuran TLS dihasilkan dipilih 4 titik pada GCP TS yaitu titik A1, A2, A17 dan A23 yang terletak pada pilar, dikarenakan titik tersebut memiliki sedikit *noisy* dan titik lokasi tersebut nampak jelas terlihat dari berbagai arah *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,0272437. Oleh karena itu dapat diketahui bahwa proses georeferensi ini dapat diterima dikarenakan tingkat densitas dari hasil *point clouds* di antara 1.57 hingga 15.70 cm untuk rentang jarak berdiri 10m sampai dengan 100m. Sehingga hasil RMSE dari proses georeferensi masih memenuhi toleransi. Pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil RMS Error dari masing-masing GCP.

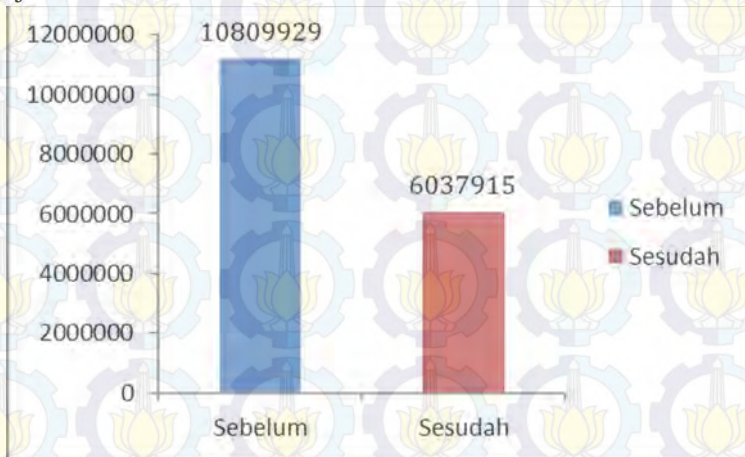
Tabel 4.7 Tabel *error* titik georeferensi

Name	Error (m)
A1	0.0243
A2	0.0239
A17	0.0243
A23	0.0350
<b>Rata-rata RMSE</b>	0,0272437

Dengan demikian dapat diketahui bahwa proses georeferensi ini berhasil dikarenakan RMS Error masih memenuhi toleransi pengukuran TLS mode "*fast*". Dengan *RMS Error* sebesar 0,027 m atau setelah dikonversi menjadi 2,7 cm dengan batas toleransi sebesar 15,70 cm menurut spesifikasi dari alat GEOMAX Zoom300, ketelitian berdasarkan rentang jarak pengukuran TLS sehingga dapat disimpulkan *RMS Error* memenuhi toleransi.

#### 4.2.4 Analisa Filtering

*Point cloud* yang dihasilkan proses registrasi berjumlah 10.809.929 titik. *Filtering* dilakukan untuk membuang titik yang tidak digunakan. Proses ini dilakukan secara manual dengan 2 parameter, adalah titik bukan merupakan bagian dari objek penelitian kemudian *noise* yang tidak seharusnya terdapat pada objek.



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Jumlah *Point Clouds* Sebelum dan Sesudah *Filtering*

Setelah dilakukan proses *filtering* secara manual, proses secara manual dilakukan dengan menghapus *noisy point* yang tidak diperlukan seperti *point clouds* kendaraan maupun titik-titik yang bukan merupakan bagian dari Jembatan Suramadu. Jumlah titik pada *point cloud* ini berkurang sebesar 44% menjadi 6.037.915 titik. Pengurangan jumlah titik sebesar ini akan meringankan proses pengolahan data selanjutnya.

#### 4.2.5 Analisis Koordinat

Pada bagian analisa ini digunakan perbandingan 20 titik koordinat ICP dari hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*



terhadap Total Station. Dalam analisa koordinat menggunakan metode Uji Statistik. ICP yang dianggap benar adalah koordinat ICP ETS sehingga ICP TLS mengacu pada hasil ICP ETS.

Pada pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* menghasilkan koordinat ICP ETS yang akan dianalisa terhadap ICP TS. Berikut merupakan ICP ETS

Tabel 4.8 Data Koordinat ICP TLS

<b>Nama</b>	<b>Easting (m)</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Elevation (m)</b>
<b>A3</b>	9205226.687	696560.7114	76.335
<b>A4</b>	9205238.647	696561.588	76.689
<b>A5</b>	9205030.171	696568.5471	72.793
<b>A6</b>	9205129.606	696575.5376	72.667
<b>A7</b>	9205231.717	696582.6615	73.569
<b>A8</b>	9205248.671	696588.2816	75.828
<b>A9</b>	9205158.993	696582.2276	75.088
<b>A10</b>	9205099.476	696575.7706	75.136
<b>A11</b>	9205232.815	696561.4132	73.591
<b>A12</b>	9205332.956	696569.4073	74.088
<b>A13</b>	9205434.597	696576488.9	73.841
<b>A14</b>	9205470.384	696600.6513	77.822
<b>A15</b>	9205356.538	696592.5338	75.891
<b>A16</b>	9205433.813	696596868.1	73.792
<b>A18</b>	9205482.103	696600.1998	76.468
<b>A19</b>	9205511.906	696606.5604	76.023
<b>A20</b>	9205523.559	696607.6325	75.573
<b>A21</b>	9205560.014	696610.2453	75.237
<b>A22</b>	9205537.374	696583.5803	73.366
<b>A24</b>	9205550.155	696579.6738	75.472



Rentang kepercayaan yang didapat untuk masing-masing koordinat adalah sebagai berikut.

Tabel 4.9 Uji Statistik

	X (m)	Y (m)	Z (m)
$c$	0.240119501	0.299053305	0.172432871

Dari hasil rentang maka dapat menghasilkan rentang atas ( $m_0+c$ ) dan rentang bawah ( $m_0-c$ ). Kemudian hasil tersebut dapat didistribusikan pada koordinat TS. Hasil dari Uji Statistik tersebut diterangkan pada tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada Koordinat Y

Nama	Min. Interval	Max. Interval	TLS
A3	9205226.481	9205226.961	9205226.687
A4	9205238.451	9205238.931	9205238.647
A5	9205030.013	9205030.493	9205030.171
A6	9205131.124	9205131.604	<b>9205129.606</b>
A7	9205231.523	9205232.003	9205231.717
A8	9205248.675	9205249.155	9205248.671
A9	9205158.803	9205159.283	9205158.993
A10	9205099.39	9205099.87	9205099.476
A11	9205232.639	9205233.119	9205232.815
A12	9205333.406	9205333.886	<b>9205332.956</b>
A13	9205434.431	9205434.911	9205434.597
A14	9205470.155	9205470.635	9205470.384
A15	9205356.301	9205356.781	9205356.538
A16	9205433.588	9205434.068	9205433.813
A18	9205482.25	9205482.73	<b>9205482.103</b>

<b>Nama</b>	<b>Min. Interval</b>	<b>Max. Interval</b>	<b>TLS</b>
<b>A19</b>	9205511.894	9205512.374	9205511.906
<b>A20</b>	9205523.876	9205524.356	<b>9205523.559</b>
<b>A21</b>	9205559.86	9205560.34	9205560.014
<b>A22</b>	9205537.063	9205537.543	9205537.374
<b>A24</b>	9205549.936	9205550.416	9205550.155

Tabel 4.11 Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada Koordinat X

<b>Nama</b>	<b>Min. Interval</b>	<b>Max. Interval</b>	<b>TLS</b>
<b>A3</b>	696560.4579	696561.0561	696560.7114
<b>A4</b>	696561.2839	696561.8821	696561.588
<b>A5</b>	696568.3399	696568.9381	696568.5471
<b>A6</b>	696575.4149	696576.0131	696575.5376
<b>A7</b>	696582.4489	696583.0471	696582.6615
<b>A8</b>	696588.2699	696588.8681	696588.2816
<b>A9</b>	696581.9339	696582.5321	696582.2276
<b>A10</b>	696574.4099	696575.0081	<b>696575.7706</b>
<b>A11</b>	696562.0519	696562.6501	<b>696561.4132</b>
<b>A12</b>	696569.1049	696569.7031	696569.4073
<b>A14</b>	696576488.7	696576489.3	696576488.9
<b>A15</b>	696600.3449	696600.9431	696600.6513
<b>A17</b>	696592.3459	696592.9441	696592.5338
<b>A18</b>	696596.700	696596.300	<b>696596.100</b>
<b>A19</b>	696601.1469	696601.7451	<b>696600.1998</b>
<b>A20</b>	696606.5909	696607.1891	<b>696606.5604</b>
<b>A21</b>	696607.5149	696608.1131	696607.6325

<b>Nama</b>	<b>Min. Interval</b>	<b>Max. Interval</b>	<b>TLS</b>
<b>A22</b>	696610.0399	696610.6381	696610.2453
<b>A23</b>	696583.3309	696583.9291	696583.5803
<b>A24</b>	696579.6579	696580.2561	696579.6738

Tabel 4.12 Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada Koordinat Z

<b>Nama</b>	<b>Min. Interval</b>	<b>Max. Interval</b>	<b>TLS</b>
<b>A3</b>	76.065	76.409	76.335
<b>A4</b>	76.571	76.915	76.689
<b>A5</b>	71.521	71.865	<b>72.793</b>
<b>A6</b>	72.459	72.803	72.667
<b>A7</b>	73.444	73.788	73.569
<b>A8</b>	75.687	76.031	75.828
<b>A9</b>	74.904	75.248	75.088
<b>A10</b>	74.936	75.280	75.136
<b>A11</b>	73.441	73.785	73.591
<b>A12</b>	73.782	74.126	74.088
<b>A14</b>	73.703	74.047	73.841
<b>A15</b>	76.728	77.072	<b>77.822</b>
<b>A17</b>	76.272	76.616	<b>75.891</b>
<b>A18</b>	73.691	74.035	73.792
<b>A19</b>	76.332	76.676	76.468
<b>A20</b>	75.826	76.170	76.023
<b>A21</b>	75.449	75.793	75.573
<b>A22</b>	75.056	75.400	75.237
<b>A23</b>	73.151	73.495	73.366
<b>A24</b>	75.204	75.548	75.472

Pada tabel 4.8 analisa 10 koordinat *Independent Check Point* (ICP) yang diukur menggunakan TLS yang di bandingkan dengan TS, sebagai parameter yang dianggap benar dengan menggunakan uji statistik dengan tingkat kepercayaan 90%, Berdasarkan tabel 4.10, 4.11 dan 4.12 di atas terlihat bahwa sebagian besar nilai koordinat ICP berada di antara interval kepercayaan. Beberapa nilai yang berada di luar interval ditandai dengan warna merah. Pada koordinat X dan Y, terdapat 9 koordinat yang ditolak untuk kedua metode. Untuk koordinat Z hanya 3 koordinat TLS yang ditolak. Koordinat ICP yang diluar toleransi, selain dari toleransi alat maupun pengukuran, factor eksternal dapat juga mempengaruhi kualitas dari data koordinat ICP tersebut, misalkan angin yang berhembus kencang dari sisi timur maupun barat jembatan suramadu, serta faktor laju kendaraan berat yang dapat mempengaruhi kondisi jembatan sehingga terjadi lendutan pada setiap waktunya. Seperti halnya yang terjadi pada koordinat yang dicetak merah pada tabel 4.10, 4.11 dan 4.12.

Tabel 4.13 Hasil Analisa ICP

<b>Nama</b>	<b>Jumlah Titik ICP</b>	<b>ICP diterima</b>	<b>Prosentase Diterima</b>
<b>TLS</b>	60	48	80%

Secara keseluruhan, terdapat 48 titik TLS yang diterima atau sebesar 80%. Hal ini menandakan pengukuran TLS memiliki hasil yang baik, di mana memberikan hasil di atas 70%. Berdasarkan hasil dan analisa terlihat bahwa dari kedua pengukuran tersebut tidak nampak perbedaan yang signifikan.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

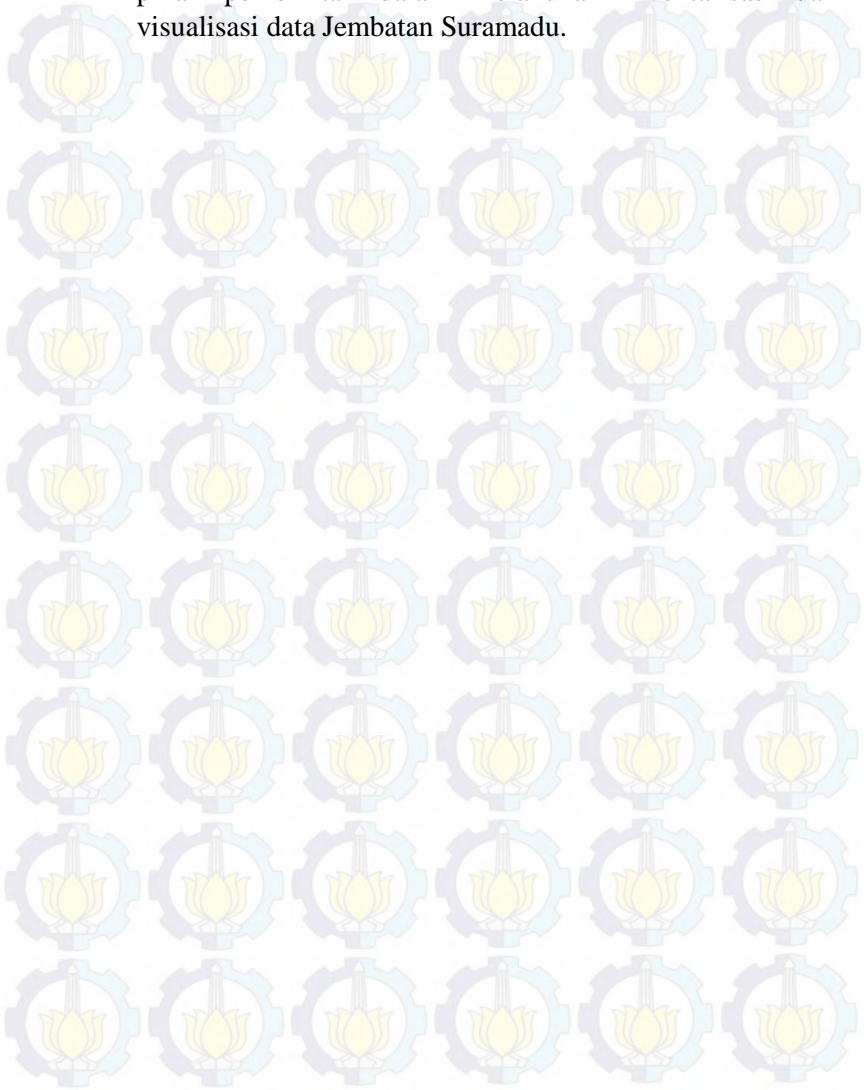
- a. Dalam visualisasi TLS mode “*fast*” memiliki keuntungan waktu scan yang relatif singkat, Terdapat beberapa spot kosong dikarenakan lokasi tersebut tidak dapat terjangkau oleh bidikan laser scanner,
- b. Pada pengukuran ini, memiliki jarak interval antar grid 1,570cm untuk jarak 0-10 meter dan jarak interval antar grid 15,70 cm, untuk jarak scan lebih dari 100 meter, dan jarak tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang dimiliki dari Alat TLS.
- c. Analisa 60 Sumbu Titik koordinat X, Y dan Z pada *Independent Check Point* (ICP) yang diukur menggunakan TLS yang di bandingkan dengan TS, sebagai parameter yang dianggap benar dengan menggunakan uji statistik dengan tingkat kepercayaan 90%, hasil yang diperoleh bahwa 48 titik koordinat TLS masih berada di dalam rentang interval kepercayaan (*region of acceptance*) dan 13 titik diantaranya ditolak, 13 titik karena berada di luar interval. Sehingga dapat disimpulkan bahwa 80% koordinat TLS memenuhi toleransi pengukuran.

#### **5.2 Saran**

Dari penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian kedepan dianjurkan menggunakan “*mode standart*” atau “*mode fine*”, sehingga jarak antar grid pada *point clouds* bisa lebih rapat.
- b. Diperlukannya pembuatan *3D modelling* dari hasil *point*

clouds dalam penelitian selanjutnya untuk memudahkan pihak pemerintah dalam melakukan inventarisasi dan visualisasi data Jembatan Suramadu.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. 2007. Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta : PT. Pradnya Paramita. Third edition. ISBN 978-979-408-377-2. 398 pp.
- Abidin, H.Z., Jones, A., Kahar, J. 2002. Survei Dengan GPS. Jakarta : PT. Pradnya Paramita . ISBN 979-408-380-1. Second Edition. 280 pp.
- Alkan, R.H., dan Karsidag, G. 2012. Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements, FIG Working Week 2012 - Commission: 6 and 5 - Knowing to Manage the Territory, Protect the Environment, Evaluate The Cultural Heritage Rome, Italy, 6-10 May 2012, Editors: Prof. Rudolf Staiger & Prof. Volker Schwieger, TS07A - Laser Scanners I, 6097, 2012 (Conference Proceedings ISBN 97887-90907-98-3).
- Austria. S, dan Natanael, A. 2013. Mahir Menggunakan SPSS Secara Otodidak. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta
- Atkinson. 1980. Developments in Close Range Photogrammetry-1. Applied Science Publishers. London.
- Badan Pengembangan Wilayah Surabaya Madura. 2011. Profil & Sejarah Jembatan Suramadu. Diambil dari: <http://bpws.go.id/index.php/profile/latar-belakang>. (06 Juni 2015)
- Barnea, S. Filin, S. 2012. Segmentation of Terrestrial Laser Scanning data using geometry and image information. ISPRS. Israel
- Barnes, A. 2012. Penggunaan Metode Fotogrametri Rentang Dekat dan Laser Scanning dalam Pembuatan Dense Point Cloud (Studi Kasus: Candi Cangkuang). Tugas Akhir. ITB. Bandung
- Charles, E. 2004. Parametric 3D Modeling in Building



- Construction with Examples from Precast Concrete, Automation in Construction, 13 (2004) 291-312
- Cyra. 2003. Cyra Technologies-3D Laser Scanning. <http://cyra.com> (visited 18 February 2015).
- Cyra. 2003. Cyclone 4.0 and cyrax basic Training Course Sesion I, Cyra Tecnologies Inc., European Office, Rijswijk, The Netherlands.
- Dora, Lysa. A. N. 2011. Deformation Analysis of Suramadu Bridge Due To Wind Effect Using Gps Kinematic Method,. Tugas Akhir. ITS. Surabaya
- Firdaus, W. 2008. Sistem dan Aplikasi Laser Scanner, Studi Kasus Pengukuran Konstruksi Anjungan Minyak Lepas Pantai. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Institut Teknologi Bandung.
- George Wolberg. 1994. Digital Image Warping. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA
- Hendriatiningsih, S. dkk. 2014. Analisa Survey Pemetaan Model Bangunan Tiga Dimensi (3D) Metode Terrestrial Laser Scanning untuk Dokumentasi As-Built Drawing. Kelompok Keilmuan Surveying dan Kadaster. ITB. Bandung
- Jacobs, G. 2005. High Definiton Surveying: 3D Laser Scanning Use in Building and Architectural. Professional Surveyor Magazine.
- Jensen, J. R., 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Second Edition. Prentice Hall Inc., New Jersey, USA.
- Lerck, Alfred. 1990. GPS SateliteSurveying. John Willey and Sons, Inc. New York. ISBN 0-471-81990-5.
- Leica Geosystems. 2011. The All-in-One Laser Scanner for Any Application, [http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-C10\\_79411.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-C10_79411.htm)
- Leitch, Kenneth. 2002. Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation. Disertasi New Mexico State University. Meksiko

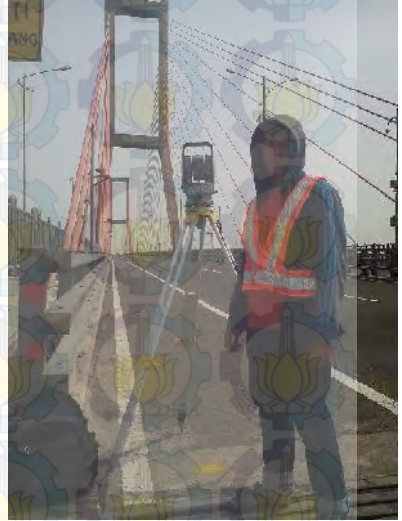


- Litchi, et al. 2004. Measurement Of Structural Deformation Using Terrestrial Laser Scanners. In Proc. of ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop
- Lichti, D. And S.J. Gordon. 2004. Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point clouds for Cutural Heritage Recording. In Proc. Of FIG Working Week – The Olympic Surveying Spirit. Athens, Greece. 22-27 May 2004.
- Linsen, L. 2001. Point Cloud representation. Technical report, Faculty of Computer Science, University of Karlsruhe, 2001.
- Maharsayanto, P. Y. 2012. Aplikasi Terrestri al Laser Scanner untuk Pemodelan Tampak Muka Bangunan (Studi Kasus: Gedung PT. Almega Geosystems, Kelapa Gading-Jakarta). Tugas Akhir. UNDIP. Semarang
- Mendes, R. B. Langley. 1998. Tropospheric Zenith Delay Prediction Accuracy for Airborne GPS High-Precision Positioning. Canada : University of New Brunswick Press.
- Monserrat, O. & Crosetto, M. 2007. Deformation Measurement using Terrestrial Laser Scanning Data and Least Squares 3D Surface Matching. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. Institute of Geomatics, Parc Mediterrani de la Tecnologia. Barcelona.
- Nurjati, C. 2004. Modul Ajar Ilmu Ukur Tanah. Program Studi Teknik Geodesi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Paul R. Wolf, Bon A. Dewitt. 2004. Elements of Photogrammetry with Application in GIS (3rd International Edition). McGraw-Hill Press, Melbourne. ISBN 10: 0-071-23689-9.
- Pflipsen. 2006. Laser Scanning Principle and Applications. Institute of Fotogrammetry and Remote Sensing. Vienna University of Technology.

- Purwadhi, F. S. H., 2001. Interpretasi Citra Digital. PT. Grasindo, Jakarta.
- Reshetyuk, Y. 2009. Terrestrial Laser Scanning, Error Source, Self-calibration, And Direct Georeferencing. Saarbrücken, Germany: VDM Verlag Dr. Müller.
- Riawan, Reza. 2013. Permodelan 3d Monumen Bandung Lautan Api Menggunakan Terrestrial Laser Scanner. Tugas Akhir. ITB. Bandung
- Schulz, T. 2007. Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy. Technical University of Berlin. Thesis Doctoral of Science.
- Wolf, Paul R. & Charles DG. 1997. Adjustment Computation Statistic and Least Squares in Surveying and GIS. John Wiley & Sons, Inc. New York. ISBN 0-471-16833-5.

## LAMPIRAN

### Dokumentasi Pengambilan Data ETS dan GPS Geodetik



### Dokumentasi Titik Target ICP dan GCP







### Dokumentasi Pengambilan Data *Terrestrial Laser Scanner*







### LAMPIRAN DATA PENGUKURAN GPS GEODETIK Waktu Pengukuran GPS (WIB)

Nama titik	Waktu mulai	Waktu selesai	Lama pengamatan	Jumlah data (point)
<b>TITIK KJSS 1 (BASE)</b>	10:09:09	15:43:39	05:34:30	10.035
<b>BM 1</b>	14:30:14	15:32:30	01:02:16	1.868
<b>BM 2</b>	10:29:30	11:35:30	01:06:00	1.980
<b>BM 3</b>	13:18:30	14:20:30	01:02:00	1.860
<b>BM 4</b>	11:56:15	12:58:00	01:01:45	1.852

Nama Surveyor : Rizqi Wahyu Priambodo	Tanggal Pengamatan : 18 Desember 2015
Tipe GPS Geodetik : TOPCON - Hiper Pro	Lama Pengamatan : 10:09:09 s/d 15:43:39 WIB
Zona UTM : 49 ( 108 BT-114 BT)	Satuan : Meter

### Data Koordinat BM

Name	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)
<b>BM1</b>	9204882.706	696558.645	68.768
<b>BM2</b>	9204956.576	696543.682	70.238
<b>BM3</b>	9205775.680	696619.921	70.155
<b>BM4</b>	9205839.532	696604.664	68.935
<b>KJSS02</b>	9202797.752	696381.947	34.383

### Data Pengamatan GPS

Name	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
<b>BM1-KJSS02</b>	0.003	0.007
<b>BM2-KJSS02</b>	0.003	0.006
<b>BM3-KJSS02</b>	0.005	0.009
<b>BM4-KJSS02</b>	0.007	0.011

Lampiran Sampel RAW Data TLS Format ASCII

<i>No</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>Scalar field</i>	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>
<b>1</b>	-247.59	-4.859	2.498	175	254	155	165
<b>2</b>	-247.59	-4.859	1.72	131	254	118	132
<b>3</b>	-247.59	-4.859	2.109	172	254	155	158
<b>4</b>	-247.58	-5.264	1.72	59	254	62	57
<b>5</b>	-247.58	-5.264	2.109	160	254	155	159
<b>6</b>	-247.58	-5.264	2.498	174	254	155	166
<b>7</b>	-247.57	-5.669	1.72	48	254	51	46
<b>8</b>	-247.57	-5.669	2.109	102	254	97	91
<b>9</b>	-247.57	-5.669	2.498	110	247	76	79
<b>10</b>	-247.57	-5.669	1.331	46	206	55	51
<b>11</b>	-240.25	-5.501	0.915	50	254	52	50
<b>12</b>	-236.12	-4.634	1.27	85	254	80	81
<b>13</b>	-236.12	-5.02	0.899	64	249	66	64
<b>14</b>	-236.1	-4.634	0.898	77	254	73	80
<b>15</b>	-228.85	6.374	38.259	157	201	163	166
<b>16</b>	-225.66	7.016	8.662	185	202	189	194
<b>17</b>	-221.77	6.899	22.526	171	214	187	187
<b>18</b>	-217.66	-5.34	1.171	45	200	54	50
<b>19</b>	-214.92	-7.384	1.157	97	216	82	83
<b>20</b>	-212.16	-3.47	0.807	47	254	43	48
<b>21</b>	-212.16	-3.47	1.14	121	254	113	127
<b>22</b>	-210.12	7.571	29.39	67	214	62	63
<b>23</b>	-210.04	7.567	27.026	75	226	83	75
<b>24</b>	-210.01	7.566	28.365	68	233	69	63
<b>25</b>	-209.95	7.565	29.702	64	207	65	66
<b>26</b>	-209.89	7.56	19.658	193	195	208	209
<b>27</b>	-208.61	-14.006	13.955	144	193	122	131

<b>28</b>	-207.23	7.48	79.629	81	199	66	67
<b>29</b>	-207.15	13.572	7.637	69	195	63	63
<b>30</b>	-207.14	13.572	8.943	65	214	57	56
<b>31</b>	-207.13	7.142	98.888	77	198	56	64
<b>32</b>	-207.13	14.592	9.272	193	195	195	199
<b>747418</b>	161.88	19.686	-3.329	97	254	100	98
<b>747419</b>	161.885	19.418	-4.097	131	244	129	131
<b>747420</b>	161.887	19.687	-3.072	97	254	100	98
<b>747421</b>	161.893	19.419	-3.841	122	254	119	121
<b>747422</b>	161.893	19.688	-2.816	108	247	115	112
<b>747423</b>	161.9	19.42	-3.584	87	254	100	94
<b>747424</b>	161.908	19.421	-3.328	100	254	101	102
<b>747425</b>	161.918	19.422	-3.072	100	254	101	102
<b>747426</b>	161.925	19.423	-2.816	99	254	102	103
<b>747427</b>	161.926	19.154	-3.841	128	254	120	123
<b>747428</b>	161.93	19.155	-3.584	103	254	114	111
<b>747429</b>	161.939	19.156	-3.328	101	254	102	103
<b>747430</b>	161.949	19.157	-3.072	118	254	121	122
<b>747431</b>	161.955	19.427	-2.56	113	231	120	117
<b>747432</b>	162.527	233.741	90.519	236	215	254	254
<b>747433</b>	164.158	31.242	-4.201	78	254	71	74
<b>747434</b>	164.165	31.243	-3.938	80	203	77	79
<b>747435</b>	174.018	35.484	-3.07	81	254	81	81
<b>747436</b>	174.023	35.485	-2.791	85	254	82	84
<b>747437</b>	174.031	35.486	-2.512	107	254	107	107
<b>747438</b>	174.055	35.195	-3.348	81	244	83	81
<b>747439</b>	174.063	35.197	-3.069	83	254	85	83
<b>747440</b>	174.068	35.197	-2.79	89	254	91	89
<b>747441</b>	174.072	35.198	-2.511	98	254	95	97
<b>747442</b>	174.108	34.909	-3.069	83	220	85	83



<b>747443</b>	174.117	34.911	-2.511	98	254	95	97
<b>747444</b>	174.119	34.911	-2.79	86	254	88	86
<b>747445</b>	174.121	34.912	-2.232	119	239	114	118
<b>747446</b>	187.688	9.831	-2.652	87	229	90	88
<b>747447</b>	187.692	9.831	-2.357	112	219	115	113
<b>747448</b>	187.703	9.524	-2.652	106	217	107	108
<b>747449</b>	187.711	9.832	-2.062	173	205	163	173
<b>747450</b>	187.715	9.524	-2.357	107	212	112	108
<b>747451</b>	187.739	9.218	-2.357	117	209	118	119
<b>747452</b>	226.427	21.167	-6.785	49	226	51	49
<b>747453</b>	227.929	20.931	-6.829	50	220	52	50
<b>747454</b>	228.005	20.562	-6.83	48	254	50	48
<b>747455</b>	228.015	20.563	-6.471	49	254	53	48
<b>747456</b>	228.552	20.612	-7.207	47	247	51	46
<b>747457</b>	228.597	20.239	-6.847	47	254	49	47
<b>747458</b>	229.149	20.288	-7.225	48	254	52	47
<b>747459</b>	229.169	20.289	-7.587	46	224	50	45
<b>747460</b>	229.307	19.924	-6.867	47	234	49	47
<b>747461</b>	235.566	13.111	-4.071	72	211	82	72
<b>747462</b>	235.576	12.725	-3.7	69	254	68	67
<b>747463</b>	235.579	12.725	-4.071	97	254	97	97
<b>747464</b>	235.59	12.339	-4.07	98	221	101	102
<b>747465</b>	266.6	-63.038	34.2	135	217	164	151
<b>747466</b>	277.473	20.911	-9.176	45	254	47	45
<b>747467</b>	300.058	39.481	-7.605	142	254	135	143
<b>747468</b>	300.069	39.483	-7.129	101	254	106	102
	747467						

## BIOGRAFI PENULIS



Rizqi Wahyu Priambodo, Lahir di Madiun 19 Mei 1993. Penulis merupakan putra pertama dari empat bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Al-Kamil Surabaya, SDN 259 Surabaya, SMPN 10 Madiun, dan SMAN 1 Babadan Ponorogo. Setelah lulus dari SMAN 1 Babadan Ponorogo, penulis melanjutkan kuliah S-1 dan diterima di Program Studi Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) tahun 2011 dan terdaftar sebagai

mahasiswa ITS dengan NRP 3511100037.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE) serta seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Geomatika ITS. Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Biro Lembaga Dakwah Jurusan GIS-HIMAGE periode 2012-2013. Penulis memilih bidang keahlian Geodesi untuk menyelesaikan studi Tugas Akhir dengan judul “Studi Ketelitian Planimetrik Pada Model 3d Pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*”.

Ketertarikan penulis tidak hanya pada bidang akademis dan keorganisasian, penulis juga gemar melakukan kegiatan *survey*, *travelling* dan pencinta alam. Penulis dapat dihubungi melalui pesan elektronik di [rizqiwahyu99@gmail.com](mailto:rizqiwahyu99@gmail.com).